

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**Палюх Олександр Олександрович**

УДК 686.1.025-686.1.027

**ТЕОРЕТИЧНІ І ПРАКТИЧНІ ЗАСАДИ  
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ КНИЖКОВОЇ  
ПРОДУКЦІЇ**

**Спеціальність 05.05.01 – машини і процеси поліграфічного  
виробництва**

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі технології поліграфічного виробництва Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, професор  
**Киричок Петро Олексійович**  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»,  
директор Видавничо-поліграфічного інституту,  
заслужений діяч науки і техніки України

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Гавенко Світлана Федорівна**  
Українська академія друкарства, завідувач кафедри  
поліграфічних медійних технологій і паковань,

доктор технічних наук, професор  
**Хімичева Ганна Іванівна**  
Київський національний університет технологій та  
дизайну, професор кафедри комп'ютерних  
інтегрованих технологій та вимірювальної техніки

доктор габілітований інженерно -технічних наук,  
**Хаджинова Світлана Євстафіївна**  
Лодзький Технологічний Університет, Центр  
Папірництва і Поліграфії, заступник директора

Захист відбудеться 25 березня 2021 року о 14 годині 00 хвилин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.10 у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: м. Київ, вул. Володимирська, 7 (корпус № 25), ауд. №10.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: м. Київ, проспект Перемоги, 37.

Автореферат розіслано «19» лютого 2021 року.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради Д 26.002.10, к. т. н., доцент  
Клименко Т. Є.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Виготовлення книжкової продукції, як сучасного засобу розповсюдження інформації на матеріальних носіях, утримує сталий розвиток дотичний із засобами відтворення інформації на електронних носіях. Перспективність розвитку кожного із напрямків розповсюдження інформації забезпечується новітніми технологіями, в першу чергу, у створенні макетів майбутніх інформаційних об'єктів, а також у створенні електронних пристроїв зчитування інформації та ресурсоощадних матеріалів для виготовлення ергономічних зразків книжкової продукції.

Активний інноваційний пошук напрямків розвитку та підвищення якісних характеристик книжкової продукції, притаманний світовому книговиданню впродовж останнього десятиріччя, проявляється в широкому представленні нових конструктивних і художніх видів, які сприяють енергоощадний і ергономічним складовим процесів технологічного виготовлення. Відповідно, новітні стратегічні підходи в плануванні поліграфічних технологій створення книжкової продукції передбачають залучення матеріальних ресурсів виготовлених із вторинної сировини, що суттєво здешевлюють витратну частину замовлення, а також передбачають застосування книжкових обкладинок, які за основними показниками наближені до структурного і зовнішнього відтворення палітурок.

Разом з тим, окрім впровадження заходів мінімізації витратної складової матеріальних ресурсів, використаних в процесі виготовлення книжкової продукції, необхідно враховувати механічні пошкодження книжкової продукції, що виникають впродовж тривалого часу інтенсивного споживчого використання і впливають на якість виготовлення книги. Яка, для загального випадку, проявляється у збереженні геометричних параметрів книги, конкурентоспроможності її зовнішнього вигляду, експлуатаційної стійкості і тривалої пружно-пластичної здатності забезпечувати належну розкриваність блоків, що відповідає кутам розкриття, наближеним до 180°. Відомо, що інтенсивне пошкодження книжкових блоків і втрата якісних характеристик відбувається в місцях, на які здійснюється найбільший вплив руйнівних навантажень, викликаних споживчим використанням і які, в силу конструктивних особливостей, в першу чергу, скорочують гарантійний експлуатаційний ресурс, визначений стандартами на технологічне виготовлення. Загальні технологічні проблеми виготовлення і контролю якості книжкової продукції, процеси окантовування і зшивання нитками книжкових блоків, утворення корінцевих клейових з'єднань, удосконалення обладнання і процеси обрізування книжкових блоків, процеси впливу клейових полімерних композицій на експлуатаційну міцність і тривалість використання книжкової продукції вивчались і досліджувались в роботах вчених Лазаренка Е. Т.,

Полюдова О. М., Гавенко С. Ф., Борисова В. І., Воробйова Д. М., Розума О. Ф., Величко О. М., Регея І. І., Петріашвілі Г. Г., Пашулі П. Л., Соботки В., Malkolm G., Clark T., Dinner W., Engeler H., Jerman P., Sendor M., Liebau D., Stadler P. та інших.

Книги виготовлені з використанням, як інноваційних ергономічних ресурсоощадних книжкових оправ, так і традиційних оправ, з'єднаних з блоками зшитими нитками й окантованими клейовими полімерними композиціями, забезпечують експлуатаційну міцність видань, їх конструктивну і художню привабливість на межі вимог галузевих стандартів.

Дані обставини викликані відсутністю науково спрямованого підходу в створенні та управлінні технологічними процесами виготовлення інноваційної книжкової продукції, конструюванні її відповідальних складових, схильних до швидкого руйнування, викликаного експлуатаційними навантаженнями, конструюванні й побудові обладнання, що забезпечує прогнозовану міцність і усталену експлуатаційну якість виготовленої продукції.

У зв'язку з цим актуальною науковою-прикладною проблемою є розробка теоретичних та практичних засад технологічного забезпечення якості книжкової продукції; розробка новітніх конструкцій інноваційних ресурсоощадних книжкових обкладинок; розробка конструкції експериментальної фальцювально-склеювальної лінії для виготовлення інноваційних обкладинок; удосконалення процесів скріплення корінцевої частини книжкових блоків зшитих нитками; оптимізація застосування палітурних клеїв і способів їх нанесення в процесі виготовлення інноваційних обкладинок.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі технології поліграфічного виробництва Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», відповідно до Закону України «Про державну підтримку книговидавничої справи в Україні» від 6 березня 2003 року № 601-IV, Державної програми розвитку книговидання і преси України, затвердженої Указом Президента України №58/95 від 28 лютого 1995 року, Розпорядження Кабінету міністрів України «Про схвалення Концепції державної політики щодо розвитку національної видавничої справи та популяризації читання на період до 2020 року» від 24 лютого 2016 р. № 111-р. Робота безпосередньо пов'язана з науковими дослідженнями кафедри технології поліграфічного виробництва ВПІ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» та виконувалась одночасно з госпдоговірними темами:

-Договір №5-2018 «Технологічні дослідження та аналіз клеючої здатності окремих видів палітурних клеїв для виготовлення книжкових оправ

із матеріалів з різними адгезійними властивостями» (номер державної реєстрації 0119U101440);

- Договір № 14-2019 «Технологічні особливості забезпечення якості та експлуатаційних властивостей при виготовленні інтегральних та напівжорстких обкладинок» (номер державної реєстрації № 0120U102341);

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розроблення теоретичних і практичних засад технологічного забезпечення якості книжкової продукції на основі реалізації методів та засобів ресурсоощадних технологій виготовлення книг в напівжорстких обкладинках.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі необхідно вирішити наступні завдання:

- здійснити аналіз інформаційного пошуку напрямків розвитку інноваційних технологій, обладнання і матеріалів для виготовлення книжкової продукції з ергономічними ресурсоощадними обкладинками та дослідити перспективи їх створення й удосконалення;

- створити методи та засоби виявлення факторів руйнування корінцевої частини книжкових блоків, зшитих нитками, на основі виявленого впливу товщини клейового шару на зміну кутів обхвату і дотичних кутів;

- провести теоретичні дослідження процесів руйнування книжкової продукції на основі фізико-механічних властивостей та змін у структурі матеріалів, що контактують при експлуатаційній деформації клейових з'єднань;

- створити математичну модель керування технологічним процесом клейового скріплення корінцевої частини книжкових блоків зшитих нитками та утворення клейового пружної композитної структури;

- розробити технологічні процеси виготовлення ергономічних ресурсоощадних книжкових обкладинок та дослідити вплив на їх структурну міцність дискретного нанесення клею та модифікованих клейових полімерних композицій;

- на підставі науково-технічних засад проєктування технологічних вузлів поліграфічного обладнання здійснити конструювання та побудову експериментально-дослідницької лінії для напівжорстких обкладинок, враховуючи вплив розроблених механізмів на точність виготовлення обкладинок та їх експлуатаційні показники;

- розробити алгоритми оцінювання експлуатаційних показників книжкових видань в напівжорстких обкладинках з врахуванням функціонального структурного аналізу та засобів математичної статистики;

- розробити узагальнену схему та класифікацію чинників впливу на рівень якості та експлуатаційні властивості книжкових видань та проєкт нормативно-технічної бази для можливого використання в державних стандартах.

*Об'єкт дослідження* – технологічні процеси виготовлення та експлуатації книжкової продукції.

*Предмет дослідження* – теоретичне та експериментальне моделювання ресурсоощадних технологій виготовлення книг в напівжорстких обкладинках.

**Методи досліджень.** Поставлені завдання вирішувалися на основі системного поєднання теоретичних та експериментальних досліджень, обумовлених застосуванням математичного і комп'ютерного моделювання. Теоретичні дослідження здійснені з врахуванням основних аналітичних залежностей технології поліграфічного виробництва, фізико-механічних і фізико-хімічних процесів, матеріалознавства, статистичних методів контролю, кваліметричної діагностики, структурно-функціонального та системного аналізу.

Експериментальні дослідження виконувались на новоствореній експериментальній лінії для виготовлення напівжорстких обкладинок, на сучасному вимірювальному і випробувальному технологічному обладнанні в лабораторних і виробничих умовах.

Обробка експериментальних даних здійснювалась на підставі теоретичних основ планування експериментів засобами математичної статистики, що підтвердили збіжність отриманих результатів теоретичних і експериментальних досліджень.

Науковою новизною отриманих результатів є створення наукових основ технологічного забезпечення якості та експлуатаційних властивостей книжкової продукції, в результаті чого,

вперше:

- обґрунтовано ресурсоощадні технологічні процеси виготовлення ергономічних напівжорстких обкладинок методом висікання розгортки із паперу та картону пристроями змінної контурної геометрії з подальшим склеюванням додаткових конструктивних деталей з основою обкладинок, що дозволяє збільшувати їх міцність, жорсткість і експлуатаційну стійкість;

- створено концептуальну модель оптимізації структурно-фізичних властивостей клейових з'єднань, як засобу підвищення показників міцності напівжорстких обкладинок в результаті склеювання їх конструктивних складових модифікованими полімерними клейовими композиціями, на основі полі-вініл-ацетатних дисперсій (ПВАД) та сумішей модифікованих полімерних згущувачів і емульгаторів, введених в їх структуру в різних вагових пропорціях, що призводить до розрахованого підвищення міцності й твердості по всій площинній і об'ємній конфігурації обкладинок;

- виявлено та експериментально підтверджено вплив дискретного несення клею суцільним, стрічковим і комірковим шаховим методами заповнення поверхонь склеювання, на міцність напівжорстких обкладинок, що забезпечує

їх структурну однорідність і стійкість до розшарування та сприяє мінімізації кількісного застосування клейових композицій;

- створено розрахункові моделі деформації Ш-подібного клейового шару корінцевої частини книжкових блоків зшитих нитками, процесів кутового зсуву корінцевої полімерної клейової пластини, впливу товщини Ш-подібного клейового шару на зміну дотичних кутів і кутів обхвату, які дозволяють пояснити процеси розтягування і стискання корінцевої клейової полімерної пластини, її пошкоджень і руйнувань, що в сукупності з уперше розробленим методом порівняльного оцінювання геометрії сходження кутів обхвату і дотичних кутів, дозволяє розраховувати необхідну і достатню, з точки зору експлуатаційної міцності, товщину клейового шару;

- виявлені особливості скріплення Ш-подібної корінцевої частини книжкових блоків, зшитих нитками та розроблено методологію розрахунку профільного нанесення клейового шару на корінцеву частину для блоків, скомплектованих із зошитів з однаковою і відмінною кількістю сторінок, що сприяє уточненню і зменшенню нормативних показників витрат клейових композицій;

- розроблено методологію оптимального вимірювання міцності матеріалів виготовлення обрізних, інтегральних і напівжорстких обкладинок з використанням вперше введених показників вимірювання в машинному і поперечному машинному напрямках розташування волокон, що дозволяє враховувати мінімальні показники руйнівних зусиль, отримані в процесі розділеного вимірювання, при виготовленні обкладинок, з метою забезпечення їх оптимальної експлуатаційної стійкості;

дістали подальший розвиток:

- розрахункові моделі міцності скріплення корінців книжкових блоків на основі профільного нанесення клею валками змінної геометрії, контурна частина яких відповідає півкруглим ділянкам фальців зошитів, в результаті чого вперше розроблено модель впливу палітурних клеїв на природні кути розкривання книжкових блоків, зшитих нитками, яка дозволяє оптимізувати визначення параметрів профільної геометрії та товщини клейового шару;

удосконалено:

- метод аналітичного аналізу факторів впливу технологічних процесів виготовлення книжкової продукції, для визначення основних руйнівних чинників, способів їх мінімізації, або значного усунення, який ґрунтується на відображенні фізико-механічних властивостей структури матеріалів, що контактують – паперів, картонів і клейових полімерних композицій, що в сукупності забезпечує ефективність дослідження і дозволяє обґрунтовувати використання матеріалів із максимальною збіжністю їх властивостей.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблено та реалізовано ресурсоощадний технологічний процес виготовлення інноваційних

ергономічних напівжорстких обкладинок з розрахованою контурною і структурною побудовою, що забезпечує жорсткі допуски відхилення від прямокутної площинної геометрії, а в місцях стиків крайок і клапанів відсутність напусків однієї їх частини на інші;

- розроблено та реалізовано комплекс математичних залежностей для визначення впливу товщини Ш-подібних клейових шарів на міцність скріплення корінцевої частини книжкових блоків зшитих нитками;

- розроблено та реалізовано методику розрахунку необхідної і достатньої кількості клею для окантовування Ш-подібних корінців книжкових блоків, яка враховує геометричні особливості такого скріплення, на основі чого надані «Норми витрат клею при окантовуванні книжкових блоків зшитих нитками на лінії «Kolbus KM-600» Державному видавництву «Преса України», застосування яких сприяє скороченню витратної складової на 12-14% для полівініл-ацетатних дисперсій (ПВАД), і на 10-12% для термоклеїв Technomelt Q3660 і ВАН 776 (Німеччина), в порівнянні з державними нормативними показниками, що в поточний період застосовуються у книжковому виробництві.

- створено на рівні винаходів оригінальні конструкції пристроїв зі змінною контурною геометрією для висікання розгортки напівжорстких обкладинок, які дозволяють висікати розгортки обкладинок одного формату і змінної товщини корінця та пристроїв для визначення міцності палітурних матеріалів через опір продавлюванню індентором, конструкція якого дозволяє враховувати повздовжнє і поперечне розташування волокон в матеріалі;

- для експериментальних досліджень та можливого виробничого застосування спроектовано та побудовано модульно-секційну фальцювальну-склеювальну експериментальну лінію з виготовлення інноваційних ресурсоощадних напівжорстких обкладинок;

- результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень впроваджено у виробництво Державного видавництва «Преса України», ТОВ «ПРИНТ МЕДІА», ТОВ «Виробничо-комерційне підприємство «СТ-ДРУК»;

- результати досліджень використовуються в навчальному процесі на кафедрі технології поліграфічного виробництва ВПІ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» при викладанні лекційних матеріалів, проведенні лабораторних і практичних робіт з дисциплін «Технологія брошуровально-палітурних процесів», «Конструювання поліграфічної продукції», «Технології переробки і утилізації поліграфічної продукції», для підготовки магістерських дисертацій.

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові результати теоретичних та експериментальних досліджень отримані автором особисто. У спільних теоретичних працях [1-3, 5-7, 13, 15, 20] автору належить формулювання задач досліджень, обґрунтування методології та способу їх розв'язку, проведення



математично-статистичного аналізу та формулювання висновків. У прикладних дослідженнях [4] автору належить розроблення моделі роликово-валкового механізму обертового пресування напівжорстких обкладинок.

Для виконання експериментальних досліджень автором визначались завдання досліджень, вибірка матеріалів, технологічне обладнання, контрольно-вимірювальні прилади; здійснений аналіз отриманих результатів, обґрунтовані висновки і практичні рекомендації для впровадження у поліграфічне виробництво.

У патентах України на винахід [21, 22] та корисні моделі [23, 24] автору належить генерація ідей і безпосередня участь у постановці та принциповому вирішенні завдань.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати досліджень, які викладені в дисертації, оприлюднені автором у доповідях і повідомленнях вітчизняних та міжнародних науково-технічних і науково-практичних конференціях та опубліковані в тезах доповідей до них: Міжнародній науково-практичній конференції "Квалілогія книги" (Львів, 1996), Міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивна техніка і технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва» (Київ, 1998), 1-й Міжнародній конференції «Технологія і техніка друкарства "ДРУК –2004"» (Київ, 2004), III Міжнародній науково-технічній конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології, (PMW–2018 (Львів, 17–19 жовтня 2018 р.), IX Міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем» (Чернігів, 14 - 16 травня 2019 р.), IV Міжнародній науково-технічній конференції «Поліграфічні, мультимедійні та WEB-технології» (Харків, 14-17 травня 2019), X Міжнародній науково-практичній конференції «Квалілогія книги» (Львів, 12 вересня 2019 р.), IX Міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні» (Львів, 03-07 лютого 2020 р.), 84-й науково-технічній конференції БГТУ «Принттехнології і медіакомунікації» (з міжнародною участю), (Мінськ, 3-14 лютого 2020 г.), X Міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем» (Чернігів, 29-30 квітня 2020 р.).

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 34 наукових праці, у тому числі 20 статей у наукових фахових виданнях, з них 2 статті у виданнях іноземних держав (1 стаття з переліку SCOPUS), 4 статті з переліку Міжнародної наукометричної бази даних Scopus (3 статті – квартиль Q2), 15 статей у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз, 2 патенти на винахід, 2 патенти на корисні моделі, 10 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків.

Обсяг рукопису – 385 сторінок, в тому числі 314 сторінок основного тексту, 118 рисунків, 32 таблиці, 224 найменування в списку використаних джерел, 7 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано її актуальність і науково-практичну проблематику, сформульовано мету й основні завдання досліджень, визначено наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, особистий внесок здобувача, наведено відомості про публікації й апробацію на тему роботи, визначено структуру дисертації.

У **першому розділі** *«Сучасний стан, проблеми й напрямки забезпечення якості книжкової продукції»* розглянуто причини, наслідки та види руйнування книг на основі аналізу сучасних напрямків світового розвитку технологічних процесів виготовлення книжкової продукції. Встановлено, що конструктивна просторова рухомість книг утворена неоднорідними за показниками міцності з'єднаннями з множиною невідомих причинно-наслідкових зв'язків і параметрів. Проаналізовано процеси забезпечення і контролю властивостей книжкових видань в серійному виробництві, які показують, що конструкцію книги можна розглядати, як результат функціонування певних складових елементів, що по різному здійснюють опір експлуатаційним деформаціям, і по різному впливають на скорочення життєвого ресурсу книг, визначеного стандартами на технологічне виготовлення.

Проведено порівняльні дослідження книжкових блоків тривалої експлуатації до яких не застосовано відновлювальні реставраційні заходи. Виявлено й систематизовано поширені типи руйнування конструктивних елементів книжкової продукції, які показали, що ні папір і палітурні матеріали, ні рівень механізації технологічних процесів не вплинули значним чином на розподіл руйнівних дефектів, періодичність і кількість їх виникнення. Завдяки цьому можна стверджувати, що, не дивлячись на відмінність фізичних показників виявлених руйнівних дефектів, існує об'єктивна системність їх виникнення. Сформульовано науково-прикладні проблеми технологічного забезпечення якості та експлуатаційних властивостей книжкової продукції та визначено напрямки їх вирішення і вдосконалення. Виявлено вплив брошурувально-палітурних процесів завершального етапу технології виготовлення книги на загальні показники якості книжкової продукції, особливості якої полягають у збереженні геометричних параметрів і міцності закритої книги та зміні параметрів просторової конструкції книжкового блоку в процесі перегортання сторінок для забезпечення читабельності. Підтверджено факт наявності упорядкованих взаємозв'язків між технологічним рівнем процесів виготовлення і якістю випуску книжкових

видань. На підставі аналізу наукових праць провідних фахівців поліграфічної галузі досліджено методи технічного моніторингу експлуатаційної міцності книжкової продукції. Виявлено технологічні відмінності виготовлення відомих книжкових оправ, виходячи з показників міцності, експлуатаційної стійкості, тривалості використання та визначено напрямки виготовлення напівжорстких ергономічних ресурсощадних обкладинок. Систематизовано фактори руйнування корінцевої частини книжкових блоків, зшитих нитками, досліджено властивості палітурних клейових полімерних композицій та їх взаємодію з паперами й картонами різних видів і маси.

У другому розділі *«Теоретичні основи процесів руйнування книжкової продукції»* розглянуто механізм формування руйнівних процесів книжкової продукції й фізико-механічні зміни структури матеріалів, що контактують в клейових з'єднаннях. Визначено, що в процесі використання книжкової продукції навантаження, що впливають на процес руйнування, носять не циклічний характер початку дії і її завершення впродовж одноразового впливу, а характер змінних показників, таких, як тривалість руйнівного впливу і чергування його наявності, або відсутності, а також формування розмірів прикладених руйнівних зусиль, що мають несистемний характер. В результаті проведених досліджень виявлено обставини руйнування обкладинок і палітурок, а також клейових полімерних плівок корінцевої частини книжкових блоків (рис. 1), які можливо віднести до найбільш поширених дефектів, що виникають впродовж використання книжкової продукції.

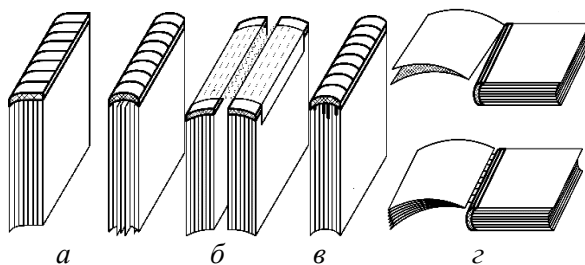


Рис. 1. Окремі види руйнування корінцевої частини книжкових блоків зшитих нитками: *а* – деформація кінця блоку і випадіння окремих аркушів, або зошитів; *б* – розколювання кінця блоку з руйнацією окантовувального матеріалу; *в* – затікання клею у між зошитовий простір; *г* – відривання форзаців, відривання першого або останнього зошитів

Показано, що при відкриванні книги лише на природні кути, розмір, яких залежить від багатьох факторів, без докладання зусиль для деформації корінцевої частини, не можливо забезпечити зручне читання. Тому в процесі відкривання книги зшитої нитками, перегортання в ній сторінок, або зошитів досліджено комплексне деформування корінцевої клейової полімерної

пластини, що позначається на процесах утворення тріщин, в яких поєднується відривна форма навантаження для тіл, що деформуються, з формою поздовжнього зсуву. На рис. 2 зображено етапи руйнування дельтоподібного фрагмента між зошитового простору Ш-подібної клейової полімерної пластини, які виникають впродовж експлуатаційного періоду використання книги. Векторами  $\vec{P}$  і  $\vec{P}_2$  позначені зусилля, що фіксують утримування книжкового блоку (рис. 2, а) в момент розкривання книги по лінії ab (довжина корінця блоку) в між зошитовим просторі.

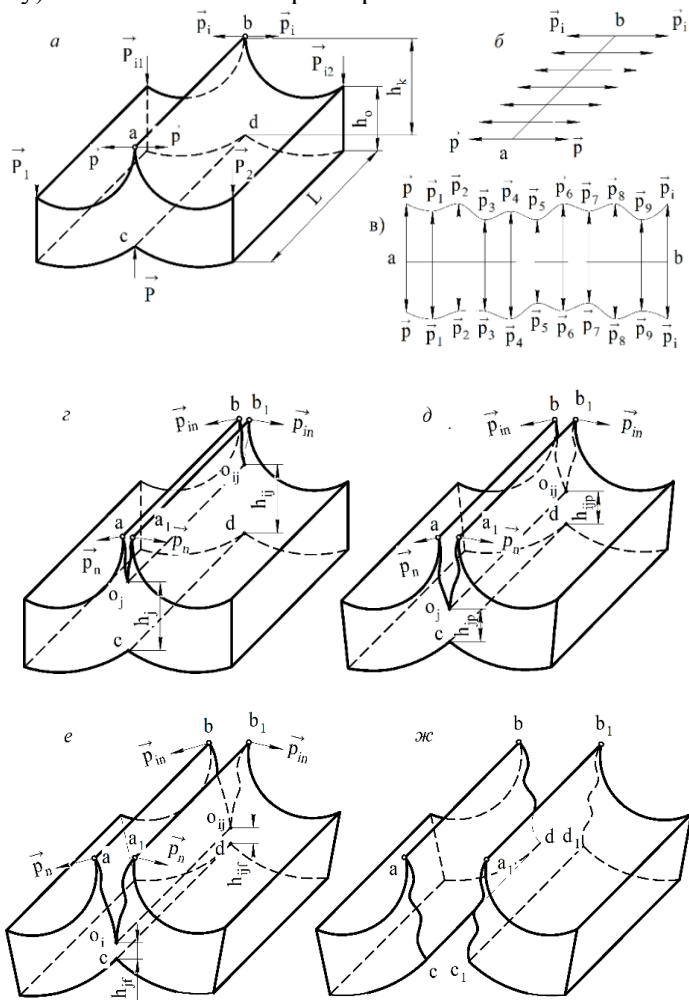


Рис. 2. Руйнування дельтоподібного фрагменту Ш-подібної корінцевої клейової полімерної пластини

$\overline{P}_1$  – зусилля перегинання корінця блоку, прикладені в момент розкривання блоку. Клейові полімерні пластини, якими окантовані Ш-подібні корінцеві частини книжкових блоків, зшитих нитками, мають пружні властивості, що не дозволяють розкривання блоків на природні кути в  $180^\circ$ . Через це, при читанні докладаються зусилля  $\overline{p}$  і  $\overline{p}_i$  на подолання пружного опору пластини, розосереджені перпендикулярно вздовж клиноподібної вершини аб клейової пластини, як зображено на епюрі зусиль (рис. 2, б). Через пружність і корінцеву гнучкість пластини, при розкриванні блоку, зусилля прикладені дискретно вздовж корінця блоку мають розмірні відмінності (рис. 2, в):

$$\overline{p} \neq \overline{p}_1 \neq \overline{p}_2 \neq \overline{p}_3 \neq \overline{p}_4 \neq \overline{p}_5 \neq \overline{p}_6 \neq \overline{p}_7 \neq \overline{p}_8 \neq \overline{p}_9 \neq \dots \neq \overline{p}_i \quad (1)$$

В момент переходу пружної деформації пластини, після тривалого експлуатаційного періоду використання книжкового блоку, до залишкової пластичної деформації, клиноподібна вершина аб поступово розшаровується, поділяючись на дві складові з координатами вершин  $ab$  і  $a_1b_1$ , які формують незначні початкові тріщини з центрами  $o_j$  і  $o_{ij}$  (рис. 2, з). Тріщини у вигляді умовних криволінійних трикутників з вершинами  $ao_ja_1$  і  $bo_jb_1$  поступово збільшуються в розмірах. Відстань від вершин руйнівних трикутників  $o_j$  і  $o_{ij}$  до опорних точок  $c$  і  $d$  скорочується до повної руйнації пластини і розділення її на дві частини (рис. 2, д, е, ж):

$$h_j > h_{jp} > h_{jf} \geq 0, \quad (2)$$

$$h_{ij} > h_{ijp} > h_{ijf} \geq 0, \quad (3)$$

Експериментальними дослідженнями підтверджено, що експлуатаційна стійкість та ресурс використання корінцевої клейової полімерної пластини залежить і може змінюватися при коливанні товщини та конструктивної геометричної конфігурації Ш-подібного шару клею. На рис. 3 зображено графічні залежності між окремими геометричними елементами клейового шару у вигляді округлих ділянок, дотичних до півкруглих частин фальцьованих зошитів, та дельтоподібних ділянок між зошитового простору, а також перерізи корінцевої частини Ш-подібних клейових полімерних пластин, у яких товщина клейового шару, від початкового  $t_1$  (рис. 3, поз. 1) змінюється на однакову дискретну величину  $\Delta$ , де

$$t_2 = t_1 + \Delta; \quad (4)$$

$$t_3 = t_1 + \Delta + \Delta = t_1 + 2\Delta; \quad (5)$$

$$t_4 = t_1 + \Delta + \Delta + \Delta = t_1 + 3\Delta. \quad (6)$$

Моделювання перегинань клейової пластини товщиною  $t_1$  передбачено в двох опорних точках. Перша  $o_1$  розташована посередині зовнішньої півкруглої частини пластини, (фрагмент  $e_1f_1d_1b_1$  на рис. 3, поз. 1) яка внутрішньою частиною контактує з фальцами книжкових зошитів. Друга  $f_1$  – розташована

посередині зовнішньої частини дельтоподібної ділянки між зошитового простору. Для пластин товщиною  $t_2, t_3, t_4$  це будуть точки  $o_2, o_3, o_4$  і  $f_2, f_3, f_4$ .

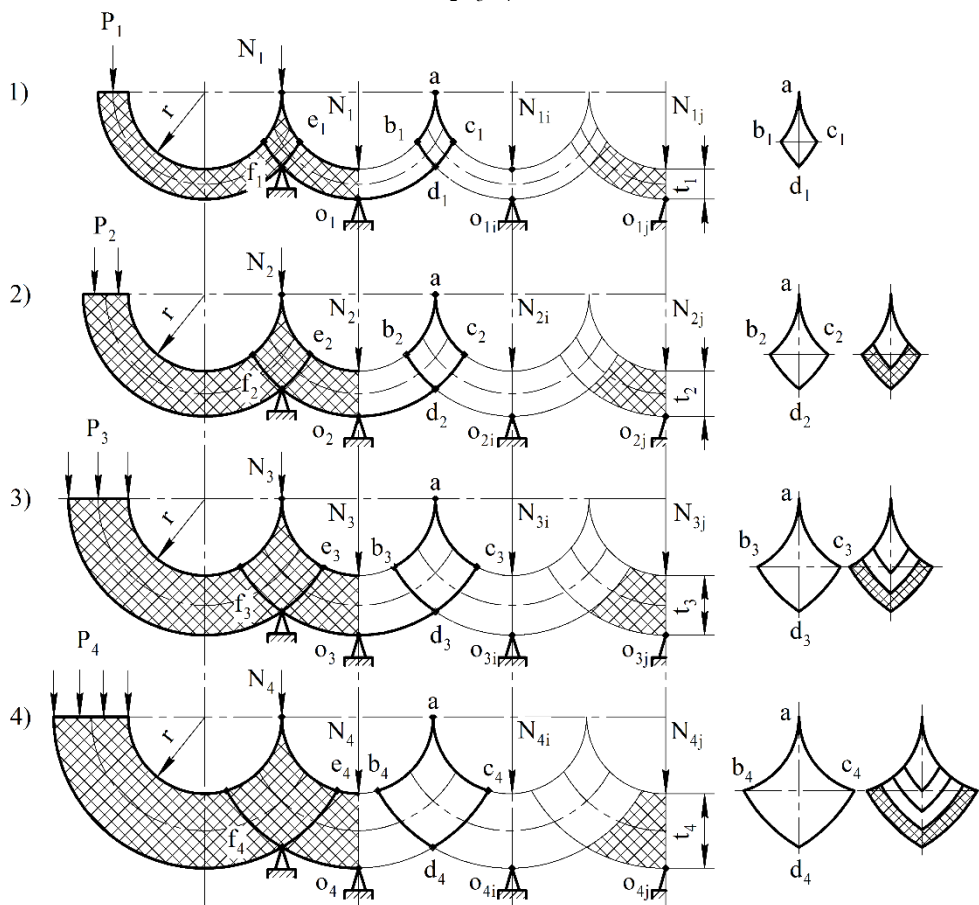


Рис. 3. Графічне відтворення залежності зміни площі дельтоподібних між зошитових ділянок від зміни товщини клейового шару,  $t_2, t_3, t_4$  – дискретна товщина клейових шарів із пропорційним розмірним збільшенням; а, b, c, d, e, f (з індексами 1, 2, 3, 4) точки вершин дельтоподібних ділянок клейового шару і вершин фрагментів півкруглих клейових ділянок,  $r$  – радіус фальців книжкових зошитів.

Окрім опорних точок, в площині яких проведено почергові експериментальні перегинання (рис. 3. поз. 1), додатково позначено опорні точки  $o_{1i}$  й  $o_{1j}$ , де здійснено фіксацію частини корінцевої пластини, яка, за умовами експерименту, залишена нерухомою. Фіксація в означених точках, в

силу конструктивних особливостей Ш-подібної поверхні корінцевих фальців, відбулась внаслідок утримувальних зусиль, позначених, як  $N_1$ ,  $N_{1i}$ , і  $N_{1j}$ . Забезпечено процес циклічного перегинання клейової пластини навантажувальними зусиллями  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  і  $P_4$ , які зростають в міру збільшення товщини пластини, де

$$P_1 > (N_1 + N_{1i} + N_{1j}); \quad (7)$$

$$P_2 > (N_2 + N_{2i} + N_{2j}); \quad (8)$$

$$P_3 > (N_3 + N_{3i} + N_{3j}); \quad (9)$$

$$P_4 > (N_4 + N_{4i} + N_{4j}); \quad (10)$$

$$P_4 > P_3 > P_2 > P_1. \quad (11)$$

Експериментальними дослідженнями підтверджено, що для подолання пружних сил внутрішньої структури корінцевої Ш-подібної клейової пластини, за умови збільшення товщини клейового шару, необхідне прикладання значно більших зусиль. Слід зауважити, що зусилля направлені на перегортання сторінок в межах одного зошита, в книжковому блоці, відчутно менші ніж зусилля прикладені до перегортання зошитів, в тому ж книжковому блоці, через неоднорідність структурної геометрії перерізу клейової пластини. Для проведення розрахунків розмірного визначення такої неоднорідності прикладених зусиль і можливих наслідків, що ведуть до прискореного руйнування книжкових блоків, розглянуто дельтоподібну частину (збільшену) корінцевої клейової полімерної пластини (рис. 4).

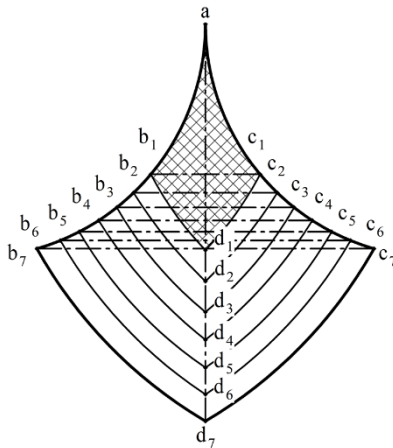


Рис. 4. Площини дельтоподібних дискретних ділянок клейового шару між зошитового простору

Початкову ділянку  $ab_1d_1c_1$ , виокремлено із Ш-подібної клейової пластини зображеної на рис. 3, поз.1. Наступні дельтоподібні ділянки  $ab_2d_2c_2$ ,  $ab_3d_3c_3$ ,  $ab_4d_4c_4$  та ін. утворено після нанесення клейових шарів товщиною  $t_1 = d_1d_2$ ,  $t_2 = d_2d_3$ ,  $t_3 = d_3d_4 \dots t_6 = d_6d_7$  за умови, що

$$t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = \dots = t_6 = \text{const} \quad (12)$$

Для загального випадку площа дельтоподібних ділянок, враховуючи

кривину контурних ліній, дорівнює:  $S \approx \frac{d_1 \cdot d_2}{2}$ , де  $d_1$  і  $d_2$  – діагоналі дельтоподібних ділянок. Відповідно, площа першої початкової ділянки –

$S_1 \approx \frac{b_1 c_1 \cdot ad_1}{2}$ , наступних –  $S_2 \approx \frac{b_2 c_2 \cdot ad_2}{2}$ ,  $S_3 \approx \frac{b_3 c_3 \cdot ad_3}{2}$ ,  $S_4 \approx \frac{b_4 c_4 \cdot ad_4}{2}$ ,  
 $S_5 \approx \frac{b_5 c_5 \cdot ad_5}{2}$ ,  $S_6 \approx \frac{b_6 c_6 \cdot ad_6}{2}$ ,  $S_7 \approx \frac{b_7 c_7 \cdot ad_7}{2}$  і далі  $S_i \approx \frac{b_i c_i \cdot ad_i}{2}$ . Завдяки цьому, пропорційне зростання товщини клейового шару веде до зростання площі перерізу дельтоподібних ділянок.

$$S_1 < S_2 < S_3 < S_4 < S_5 < S_6 < S_7 < \dots < S_i \quad (13)$$

Після виконання замірів і необхідних обчислень, показники розмірних змін товщини клейових шарів і площини перерізів дельтоподібних ділянок відтворено на гістограмі рис. 5, де ТКШ – товщина клейового шару, ПДД – площа дельтоподібних ділянок.



Рис. 5. Гістограма зміни площини перерізів дельтоподібних ділянок між зошитового простору в процесі зміни товщини клейового шару

Експериментальними дослідженнями підтверджено, що внаслідок поступового зростання товщини клейового шару  $t$ , суттєво змінюється площа перерізів  $S$  дельтоподібних ділянок між зошитового простору. Товщина клейового шару від 1-ої позиції до 7-ої збільшується в 3,3 раза, а площа перерізів дельтоподібних ділянок, в тих же позиціях, збільшується в 5,4 раза.

У третьому розділі «Моделювання деформації клейових шарів корінцевої частини книжкових блоків зшитих нитками» запропоновано методологію експериментального пошуку оптимального співвідношення товщини Ш-подібного клейового шару корінцевої частини книжкового блоку зшитого нитками, та необхідних і достатніх зусиль що прикладено для його перегинань в процесі розкривання блоку. Розроблено методику нанесення клейової



композиції на Ш-подібну корінцеву частину книжкового блоку, зшитого нитками, яка полягає у використанні клейового апарата Kolbus KM 600 книжкової лінії Kolbus BF-512 (Німеччина), в який вмонтовано розроблений для експериментальних досліджень пристрій нанесення клею з профільним валом, що повторює рельєфну частину Ш-подібного корінця книжкового блоку зшитого нитками (рис. 6, а) і регулює нанесення визначених дискретних шарів клею (рис. 6, б, в, г).

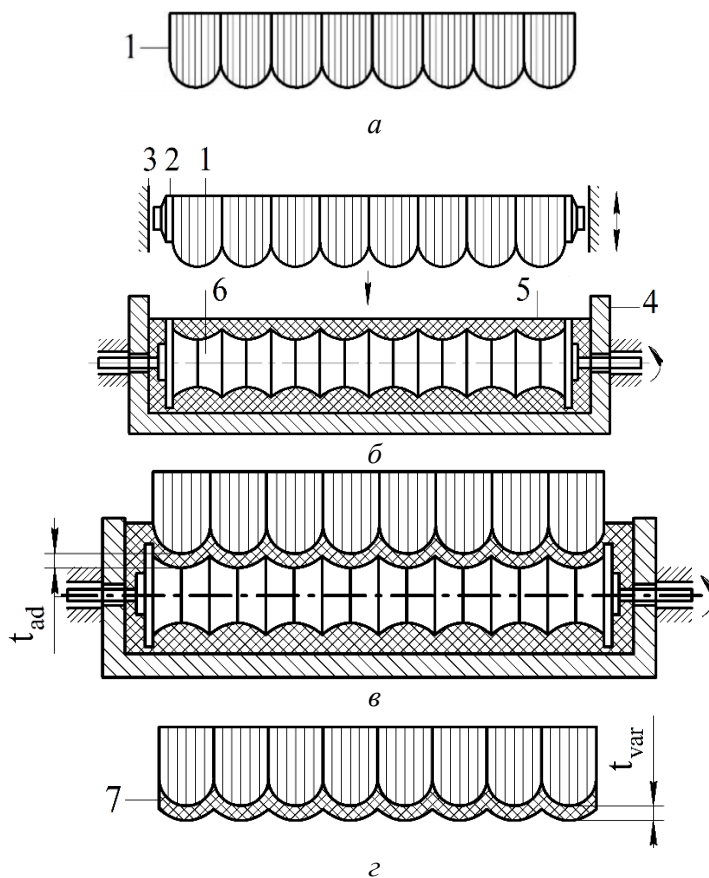


Рис. 6. Механізм профільного нанесення клею на корінцеву частину книжкового блоку зшитого нитками: 1 – фрагмент корінцевої частини книжкового блоку, 2 – рухомі затискачі, 3 – транспортувальні напрямні, 4 – клейова ванна, 5 – клей, 6 – профільний обертальний вал, 7 – шар клею

Шари клею нанесено на визначені розміри  $t_{ad}$ , загальну товщину яких, після кожного вимірювання, збільшено і позначено, як  $t_{var}$ . В процесі дослідження, згідно з умовами експерименту, стали величини нанесення

клеєвого шару контрольовані комп'ютерною системою управління клеевого апарату.

Розглянуто переріз фрагменту Ш-подібної клеевої полімерної пластини кінцевої частини книжкового блоку (рис. 7), зшитого нитками у якій в структуру основного масиву клею (б), зі сторони увігнутої поверхні, імплантовані стійки палітурних ниток (а), які утворили щільну з'єднувальну просторову конструкцію для кінцевих фальців зошитів. Зовнішня поверхня клеевої пластини (в) окантована паперовою стрічкою, яка, враховуючи високі адсорбційні властивості палітурного клею, створила поверхневу композитну частину масиву клею на кінці книжкового блоку.

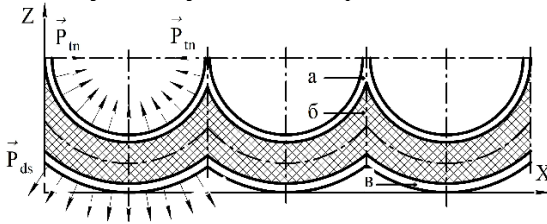


Рис. 7. Переріз фрагменту клеевої полімерної пластини кінцевої частини книжкового блоку зшитого нитками, а – палітурні нитки, б – Ш-подібний шар клею, в – окантовувальна паперова стрічка.

Векторами  $\vec{P}_m$  (рис. 7) позначено напрями сумарних зусиль натягу ниток, одні із яких, виникають в процесі шитва книжкових блоків на швацькій машині. Інші – в момент розкривання книжкових блоків і перегинання композитної клеевої пластини, структурною складовою якої є стійки ниток. Векторами  $\vec{P}_{ds}$  (рис. 7) позначено напрями зусиль руйнування окантовувальної паперової стрічки, які виникають в моменти тривалих експлуатаційних розкривань книжкових блоків на кути  $150^0 - 180^0$ . Це дозволяє стверджувати, що експлуатаційна стійкість та ресурс використання кінцевої композитної полімерної пластини залежить і може змінюватися при коливанні товщини клеевого шару. Хвиляста геометрична побудова Ш-подібного клеевого шару передбачає однакову, припустиму для моделювання деформації полімерної пластини товщину в напівкруглих ділянках, дотичних до кінцевих фальців зошитів (рис. 7). Та збільшену товщину клеевого шару у місцях утворення клиноподібних припливів з увігнутими поверхнями в між зошитовим просторі, пропорційність яких (клиноподібних припливів) до напівкруглих ділянок коливається в межах від 1:1,5 до 1:1,9.

На рис. 8, 9, 10, 11 графічно зображено етапи впливу товщини Ш-подібного клеевого шару на пружно-пластичну деформацію кінцевих частин книжкових блоків, зшитих нитками, на прикладі двох кінцевих клеевих пластин. Пластини утворено при окантуванні двох однакових книжкових блоків: в однієї – шар клею відповідає розміру  $t$  мм, а у другої – шар клею збільшений і відповідає розміру  $t + \Delta_{gl}$  мм.

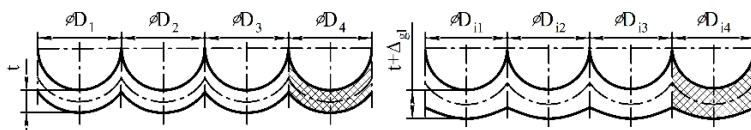


Рис. 8. Фрагменти перерізу клейових пластин товщиною  $t$  мм і  $t + \Delta_{gl}$  мм;

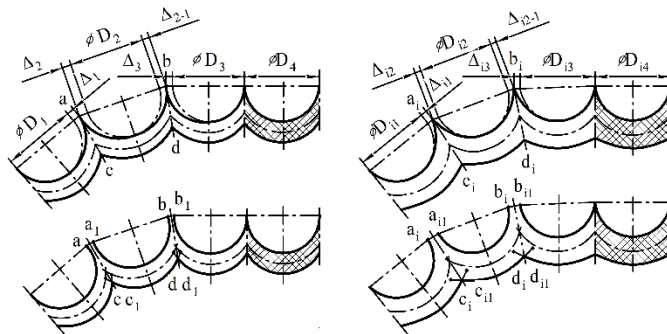


Рис. 9. Перегинання клейових пластин, утворення зон розтягування і стиснення

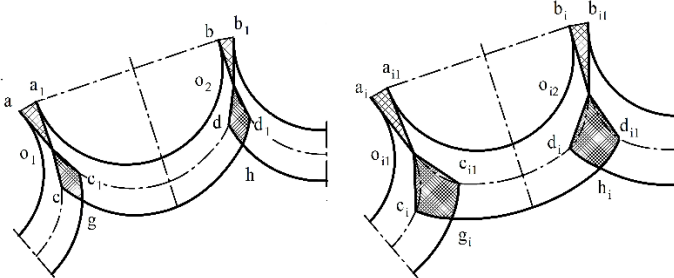


Рис. 10. Розподіл зусиль розтягування і стиснення

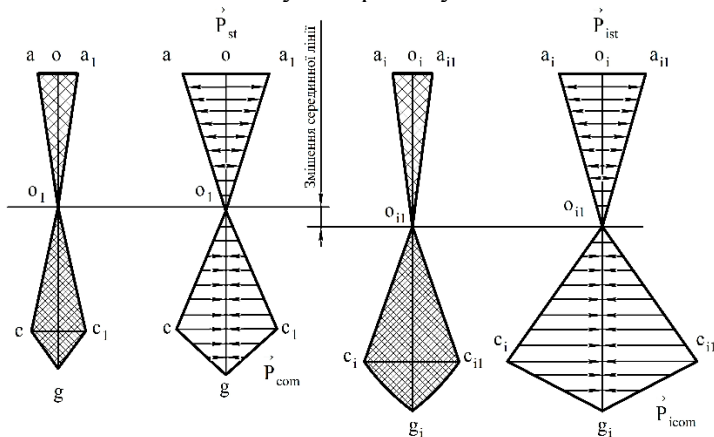


Рис. 11. Вплив товщини клейового шару на пружно-пластичну деформацію корінцевої частини книжкових блоків, епюри зусиль розтягування і стиснення

На рис. 8 відтворено два фрагменти перерізів окантовувальних клейових полімерних пластин, що мають початковий лінійний характер розташування у книжкових блоках з прямим корінцем, структура яких, на відміну від округлених, вибрана для наочності моделювання перегинань і спостереження навантажень, що виникають. Для довірчого моделювання перегинань пластин діаметри заокруглення корінцевих фальців в блоках тотожні. Тобто:

$$\varnothing D_1 = \varnothing D_2 = \varnothing D_3 = \varnothing D_4 = \varnothing D_j = \text{const} \quad (14)$$

$$\varnothing D_{i1} = \varnothing D_{i2} = \varnothing D_{i3} = \varnothing D_{i4} = \varnothing D_{ij} = \text{const} \quad (15)$$

Часткове перегинання клейових пластин, при розкриванні книжкових блоків, деформує правильні увігнуті півкруглі контури внутрішньої частини пластин на змінні додаткові величини  $\Delta$  (рис. 9).

Експериментальне перегинання пластини здійснено між зошитами по напрямках січних ліній, позначених, як лінії  $ac$ ,  $bd$ ,  $a_i c_i$ ,  $b_i d_i$ . Лінії проходять через зону припливів, які утворені після заповнення клеєм дотичних півкруглих поверхонь сусідніх зошитів і мають конфігурацію дельтоїдів. з увігнутими сторонами. Досліджено, що під час посторінкового перегортання, зусилля, прикладені для дискретного розкривання блоків у будь-якому місці, мають неоднорідні розмірні значення, які не піддаються точному вимірюванню і калібруванню, а тому відповідають геометричній розбіжності деформації клейових пластин. Це дозволяє стверджувати, що деформація розтягування і стискання призводить до найбільших руйнівних явищ вздовж увігнутих поверхонь клейових пластин, дотичних до півкруглих поверхонь корінцевих фальців книжкових зошитів (рис. 7).

Розглянуто першу пластину на рис. 9, де, для  $\varnothing D_1$  прийнято лінійний розмір, як  $S_1$ , тоді приріст лінійної деформації для  $\varnothing D_1$  в околі точки  $a$  складе  $\varnothing D_1 + \Delta_1$ , або  $S_1 + \Delta_1$ . Лінійна деформація  $\varepsilon_1$  в околі точки  $a$ :

$$\varepsilon_1 = \lim_{S_1 \rightarrow 0} \frac{\Delta_1}{S_1} \quad (16)$$

Для  $\varnothing D_2$  прийнято лінійний розмір, як  $S_2$ ; приріст лінійної деформації для  $\varnothing D_2$  в околі точок  $a$  і  $b$  складає  $\varnothing D_2 + \Delta_2 + \Delta_{2-1}$ , або  $S_2 + \Delta_2 + \Delta_{2-1}$ . Лінійна деформація  $\varepsilon_2$  в околі точок  $a$  і  $b$ :

$$\varepsilon_2 = \lim_{S_2 \rightarrow 0} \frac{\Delta_2 + \Delta_{2-1}}{S_2}. \quad (17)$$

Для  $\varnothing D_3$  прийнято лінійний розмір, як  $S_3$ ; приріст лінійної деформації для  $\varnothing D_3$  в околі точки  $b$  складає  $\varnothing D_3 + \Delta_3$ , або  $S_3 + \Delta_3$ . Лінійна деформація  $\varepsilon_3$  в околі точки  $b$ :

$$\varepsilon_3 = \lim_{S_3 \rightarrow 0} \frac{\Delta_3}{S_3}. \quad (18)$$

Розглянуто другу пластину на рис. 9, де, для  $\varnothing D_{i1}$  прийнято лінійний розмір, як  $S_{i1}$ ; приріст лінійної деформації для  $\varnothing D_{i1}$  в околі точки  $a_i$  складає  $\varnothing D_{i1} + \Delta_{i1}$ , або  $S_{i1} + \Delta_{i1}$ ; Лінійна деформація  $\varepsilon_{i1}$  в околі точки  $a_i$ :

$$\varepsilon_{i1} = \lim_{S_{i1} \rightarrow 0} \frac{\Delta_{i1}}{S_{i1}}. \quad (19)$$

Для  $\varnothing D_{i2}$  прийнято лінійний розмір, як  $S_{i2}$ ; приріст лінійної деформації для  $\varnothing D_{i2}$  в околі точок  $a_i$  і  $b_i$  складає  $\varnothing D_{i2} + \Delta_{i2} + \Delta_{i2-1}$ , або  $S_{i2} + \Delta_{i2} + \Delta_{i2-1}$ ; Лінійна деформація  $\varepsilon_{i2}$  в околі точок  $a_i$  і  $b_i$ :

$$\varepsilon_{i2} = \lim_{S_{i2} \rightarrow 0} \frac{\Delta_{i2} + \Delta_{i2-1}}{S_{i2}}. \quad (20)$$

Для  $\varnothing D_{i3}$  прийнято лінійний розмір, як  $S_{i3}$ ; приріст лінійної деформації для  $\varnothing D_{i3}$  в околі точки  $b_i$  складає  $\varnothing D_{i3} + \Delta_{i3}$ , або  $S_{i3} + \Delta_{i3}$ ;

Лінійна деформація  $\varepsilon_{i3}$  в околі точки  $b_i$ :

$$\varepsilon_{i3} = \lim_{S_{i3} \rightarrow 0} \frac{\Delta_{i3}}{S_{i3}}. \quad (21)$$

Дискретність зусиль прикладених до розкривання книжкового блоку, як по місцю прикладання, так і по часу знаходження окремих зон клейової пластини під навантаженням, формує геометрично відмінний приріст лінійних розмірів в кожній фіксованій зоні перегинання полімерної пластини, тому

$$\Delta_1 \neq \Delta_2 \neq \Delta_{2-1} \neq \Delta_3 \neq \Delta_{i1} \neq \Delta_{i2} \neq \Delta_{i2-1} \neq \Delta_{i3} \neq const. \quad (22)$$

На рис. 9 графічно зображено явища розтягування верхньої частини корінцевих пластин в точках  $a$ ,  $b$ ,  $a_i$ ,  $b_i$ , в яких утворені зони розтягування  $a$ - $a_1$ ,  $b$  -  $b_1$ ,  $a_i$  -  $a_{i1}$ ,  $b_i$ - $b_{i1}$ . Разом з тим одночасно в точках  $c$ ,  $d$ ,  $c_i$ ,  $d_i$  відбувається ущільнення і м'яття внутрішньої структури клейових пластин, зсув внутрішніх полімерних шарів, позначених ділянками  $c$ - $c_1$ ,  $d$ - $d_1$ ,  $c_i$ - $c_{i1}$ ,  $d_i$ - $d_{i1}$ , що сприяє накопиченню зусиль пружної деформації і створенню запасу енергії для повернення перегнутої клейової пластини в початкове положення, після закриття книги, а також повернення зон розтягування в точках  $a$ ,  $b$ ,  $a_i$ ,  $b_i$  у висхідне становище. Заштриховані графічні зони розтягування, м'яття і зсуву з різною площею заповнення відтворено на збільшеному для наочності рис. 10 і позначено, як  $aa_1o_1cgc_1$ ,  $bb_1o_2dhd_1$ , а також  $a_ia_{i1}o_{i1}c_igc_{i1}$  і  $b_ib_{i1}o_{i2}d_ih_d_{i1}$ .

На рис. 11 площа трикутника  $ao_1a_1$ , що відтворює контури і зону докладання зусиль розтягування клейового шару, практично тотожна площі дельтоїда  $o_1cgc_1$ , що відтворює контури і зону докладання зусиль м'яття. Отже, при

мінімальній товщині клейового шару, достатнього для забезпечення експлуатаційної стійкості корінця книжкового блоку, зшитого нитками, зусилля, прикладені при розкриванні книги на подолання пружних сил внутрішньої структури полімерної пластини, в частині зони у формі дельтоїда, співвідносяться майже рівномірно до зусиль розтягування клейового шару у верхній загостреній частині у формі трикутника.

На рис. 11 відтворено зміну пропорційності, після збільшення товщини клейового шару, між зоною розтягування верхньої частини клейової пластини, у формі трикутника, і зоною зсуву і м'яття пластини, у формі дельтоїда. Зі збільшенням товщини клейового шару його серединна площа змістилася, відповідно, площа трикутника  $a_0o_{11}a_{11}$  змінилася у розмірах в порівнянні із площею трикутника  $ao_1a_1$ . Основи  $aa_1$  і  $a_0a_{11}$  трикутників залишилися незмінними, внаслідок міжмолекулярних зв'язків клейової полімерної композиції, що обмежують розмірні зони розтягування до початку руйнації. Висота  $o_0o_{11}$  збільшилася, в порівнянні з висотою  $oo_1$ , на розмір зміщення серединної площини. Розмір зміщення суттєво не впливає на відмінність конфігурації трикутників зон розтягування  $ao_1a_1$  і  $a_0o_{11}a_{11}$ .

На відміну від трикутників розтягування, дельтоїди  $o_1cgc_1$  і  $o_{11}c_1g_1c_{11}$  зон зсуву і м'яття, зі сторони вигнутої поверхні клейового шару, фіксують суттєву відмінність за розмірними значеннями в сторону значного збільшення у пластини товщиною  $t+\Delta_{g_1}$  мм. Впливає, що при відкриванні книги, для подолання пружних сил внутрішньої структури корінцевої полімерної пластини, за умови збільшення товщини клейового шару, необхідне прикладання значно більших зусиль. Зусилля, які будуть розтягувати і руйнувати поверхневу частину клейової пластини з підвищеним напруженням і експлуатаційним навантаженням, графічно відтворено збільшеною площиною у формі дельтоїда  $o_{11}c_1g_1c_{11}$ .

Сумарна площа зон, що графічно опосередковано відтворюють зусилля розтягування і м'яття першої клейової пластини:  $S_{\Sigma 1} = S_2 + S_3$ ,

$$S_2 = S_{\square aa_1o_1} = \frac{aa_1 \times oo_1}{2} = \frac{a \times h}{2}, \text{ де } aa_1 = a; oo_1 = h, \quad (23)$$

$$S_3 = S_{\triangle o_1cgc_1} = \frac{cc_1 \times o_1g}{2} = \frac{d_1 \times d_2}{2}, \text{ де } cc_1 = d_1; o_1g = d_2 \quad (24)$$

$$S_{\Sigma 1} = \frac{a \times h}{2} + \frac{d_1 \times d_2}{2} = \frac{1}{2}(a \times h + d_1 \times d_2), \quad (25)$$

тоді, для другої клейової пластини:

$$S_{i\Sigma 1} = \frac{a_i \times h_i}{2} + \frac{d_{i1} \times d_{i2}}{2} = \frac{1}{2}(a_i \times h_i + d_{i1} \times d_{i2}), \quad (26)$$

де  $d_1 < d_{i1}$ , а  $d_2 < d_{i2}$ , відповідно:  $S_{\Sigma 1} < S_{\Sigma i1}$ .

Векторні графіки на рис. 11 відтворюють зміни зусиль розтягування  $\overline{P_{st}}$ ,  $\overline{P_{ist}}$  і стискання  $\overline{P_{com}}$ ,  $\overline{P_{icom}}$  клейових пластин, в місці перегинання, через зміну товщини клейового шару у сторону збільшення від пропорційно рівноважних до таких, що змінюють рівновагу зусиль у зоні стискання на додатково руйнівні в точках  $a_i$  і  $b_i$  (рис. 9). Проведено дослідження впливу товщини клейового шару на умови перегинання полімерної пластини і появи руйнівних дефектів при розкриванні книги. На рис. 12, а зображено Ш-подібний фрагмент корінцевої частини книжкового блоку.

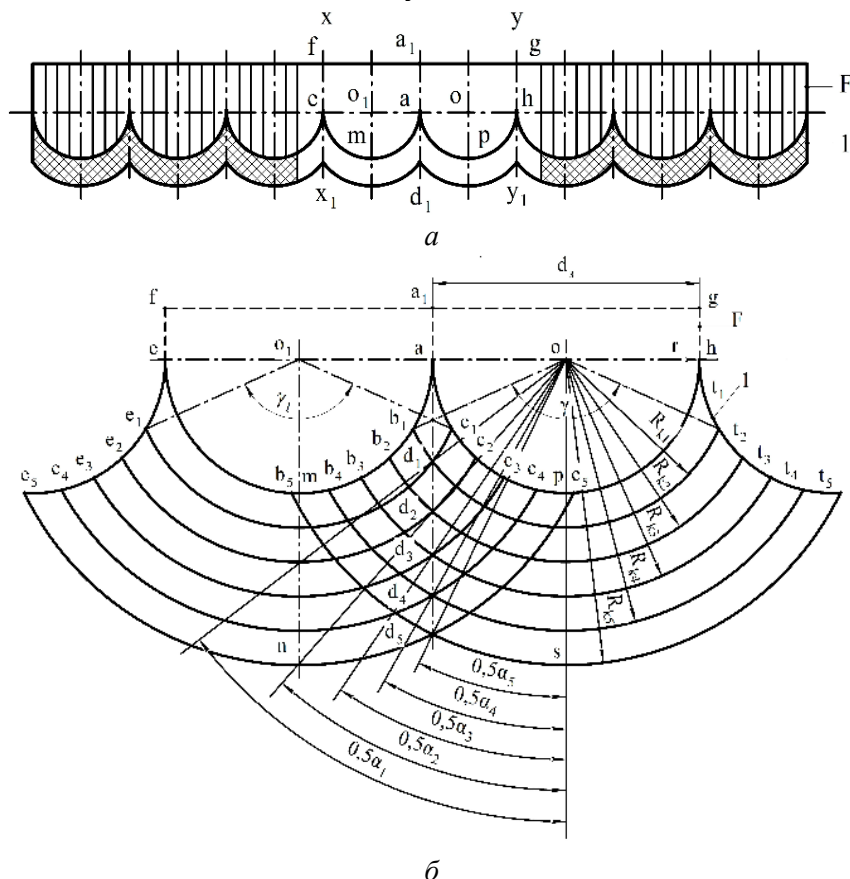


Рис. 12. Графічні залежності зміни кутів обхвату клейового шару від зміни його товщини: а – фрагмент перерізу експериментальної корінцевої частини книжкового блоку; б – кути обхвату клейового шару з дискретною зміною товщини; F – виокремлена корінцева частина фальцьованих зошитів; 1 – перший одинарний шар клею; 2,3,4,5 – послідовно збільшені шари клею на  $\Delta_{gl}=0,10$  мм.

Центральну ділянку цього фрагменту, окреслено січними лініями  $xx_1$  і  $yy_1$ , збільшено і представлено на рис. 9, б. Окрім початкового шару клею, товщиною  $t_1$ , додатково нанесено наступні декілька шарів клею  $t_2, t_3, t_4, t_5$ , які послідовно збільшено від початкового розміру  $t_1 = 0,50$  мм на однакову величину  $\Delta_{gl} = 0,10$  мм.

Профільному нанесенню клею для кожного шару відповідають радіуси утворених секторів  $R_{k1}, R_{k2}, R_{k3}, R_{k4}, R_{k5}$ . При виконанні експериментальних вимірювань враховано 10 операцій профільного послідовного нанесення додаткових шарів клею, товщина яких і кутові показники занесені в табл. 1.

Формування кутів обхвату фальців книжкових зошитів для фіксованих шарів клею, за товщиною, що зростає здійснено на перетині ділянок  $b_1d_1$  і  $c_1d_1$  від центра півкруглої частини фальца, позначеного крапкою  $o$ , – одна сторона кута. Інша сторона кута формується по прямій лінії  $os$ , що ділить кут обхвату навпіл.

Такі вимірювання кутів обхвату здійснено послідовно від центру  $o$  до вершин дельтоїдів  $d_2, d_3, d_4, d_5$ , позначених на рис. 12, б, і далі до вершин  $d_6 \dots d_{10}$ , не позначених на рис. 12, б, через суттєве перевантаження значною кількістю графічних елементів, але показники яких показані в табл. 1.

На рис. 13 зображено частину корінцевого фрагмента із рис. 12, б, середня дельтоподібна ділянка якого виокремлена по лініях  $mn$  і  $ps$ .

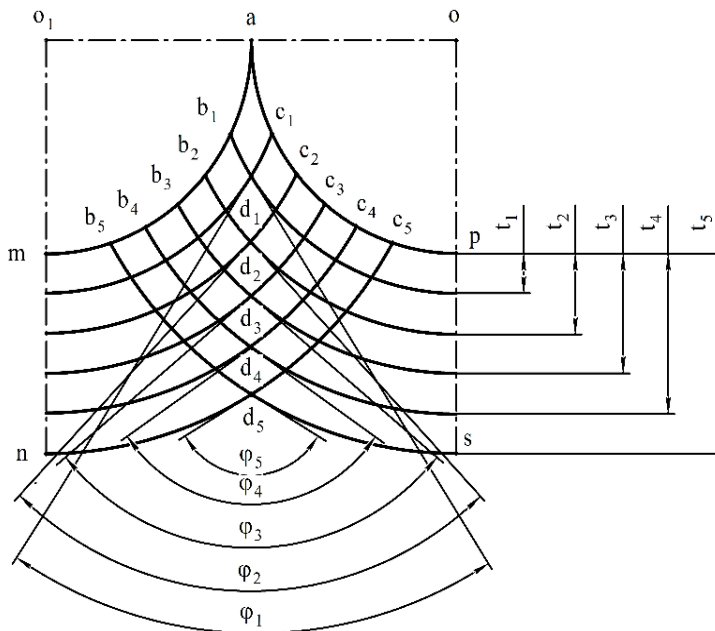


Рис. 13. Графічні залежності зміни дотичних кутів клейових шарів від зміни їх товщини



Вимірювання дотичних кутів зовнішньої частини клейового шару  $\varphi_1 \dots \varphi_5$  (рис. 13) і  $\varphi_6 \dots \varphi_{10}$ , (внесених до табл. 1 і не показаних на рис. 12), здійснено в зонах позначених крапками  $d_1 \dots d_5$  і  $d_6 \dots d_{10}$ , як і у випадку із вимірюванням кутів обхвату, в місцях стикування зовнішньої частини Ш-подібного клейового шару в між зошитовим просторі.

На рис. 12, б спостерігається зростання товщини шару клею від початкового, товщиною  $t_1 = 0,50$  мм, до дискретно збільшеного на  $10 \cdot \Delta_{gl}$  ( $\Delta_{gl} = 0,10$  мм) товщиною  $t_{10} = 1,40$  мм (проміжна товщина  $t_5 = 0,90$  мм), Кут обхвату  $\alpha_i$  змінюється в меншу сторону, від максимального, із проведених вимірювань, у  $115^0 10'$ , до мінімального у  $41^0 22'$  (табл. 1).

В той же час, дотичні кути  $\varphi_i$  змінюються навпаки, від мінімального у  $64^0 57'$  до максимального у  $138^0 38'$  (рис. 13). Для загального випадку:

$$\alpha_i, \varphi_i = f(t_i), \quad (27)$$

де  $\alpha_i$  – кут обхвату,  $\varphi_i$  – дотичний кут,  $t_i$  – товщина клейового шару.

Наближено рівними кут обхвату  $\alpha_2 = 93^0 3'$  і дотичний кут  $\varphi_2 = 85^0 51'$  фіксуються при товщині клейового шару  $t = 0,60$  мм (табл. 1). Збіг кутів можливий в межах товщини клейового шару  $0,60$ – $0,70$  мм.

Розмірні зміни кутів обхвату (зменшення кутових показників) і дотичних кутів (збільшення кутових показників), отримані у процесі експериментальних вимірювань, занесені в табл. 1 і відтворені на діаграмі (рис. 14).

Таблиця 1

Розмірні показники зміни кутів обхвату  $\alpha_i$  й дотичних кутів  $\varphi_i$  зі зміною товщини клейового шару  $t_i$

№ клейового шару	Товщина клейового шару, $t_i$	Кути обхвату, $\alpha_i$	Кути дотичні, $\varphi_i$
1	$t_1 = 0,50$ мм	$\alpha_1 = 115^0 10'$	$\varphi_1 = 64^0 57'$
2	$t_2 = 0,60$ мм	$\alpha_2 = 93^0 3'$	$\varphi_2 = 85^0 51'$
3	$t_3 = 0,70$ мм	$\alpha_3 = 79^0 34'$	$\varphi_3 = 100^0 20'$
4	$t_4 = 0,80$ мм	$\alpha_4 = 69^0 32'$	$\varphi_4 = 110^0 43'$
5	$t_5 = 0,90$ мм	$\alpha_5 = 62^0 6'$	$\varphi_5 = 117^0 51'$
6	$t_6 = 1,00$ мм	$\alpha_6 = 56^0 28'$	$\varphi_6 = 123^0 26'$
7	$t_7 = 1,10$ мм	$\alpha_7 = 51^0 48'$	$\varphi_7 = 128^0 13'$
8	$t_8 = 1,20$ мм	$\alpha_8 = 47^0 34'$	$\varphi_8 = 132^0 15'$
9	$t_9 = 1,30$ мм	$\alpha_9 = 44^0 30'$	$\varphi_9 = 135^0 40'$
10	$t_{10} = 1,40$ мм	$\alpha_{10} = 41^0 22'$	$\varphi_{10} = 138^0 38'$

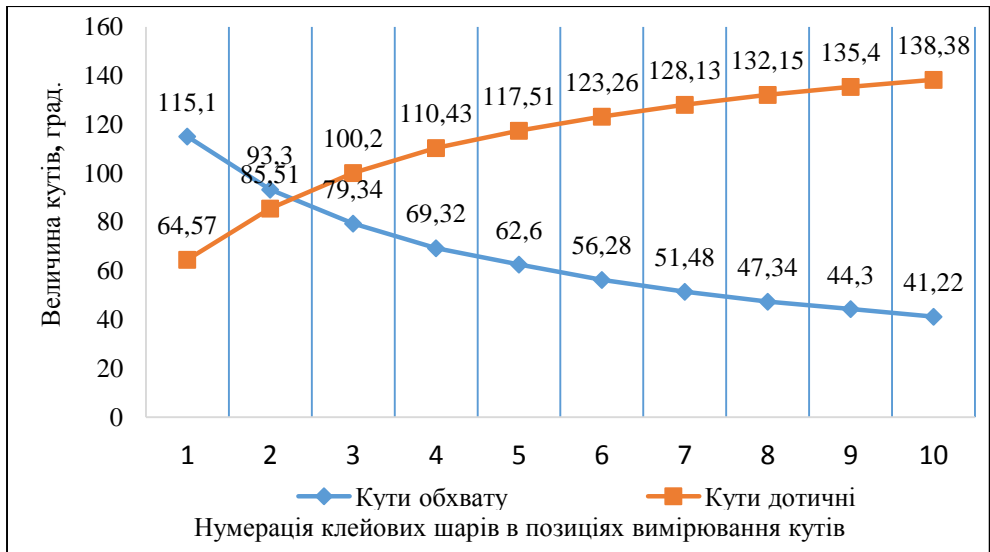


Рис. 14. Діаграма зміни показників кутів обхвату і дотичних кутів в процесі зміни товщини клейового шару

Виходячи із геометрії сходження клейових шарів, що окантовують фальці півкруглої частини кожного із зошитів, зшитих нитками в книжковий блок, доведено, що послідовне збільшення товщини нанесення клею впливає на збільшення дотичних кутів зовнішньої частини клейового шару, а також на послідовність перетворення Ш-подібної форми пластини в площину. Сходження двох частин першого шару клею (рис. 9, б) товщиною  $t_1$  по лінії  $ad_5$  у між зошитовим просторі з центрами фальців  $o_1$  і  $o$ , формує дельтоїд  $ab_1d_1c_1$  з діагоналлю  $D_1$ , що за лінійними розмірами значно більшої товщини клейового шару  $t_1$ , відповідно  $D_1 \neq t_1$  й  $D_1 > t_1$ . Із дискретним збільшенням товщини клейового шару на однакову величину збільшуються дотичні кути зовнішньої частини Ш-подібної поверхні й зменшуються за лінійними розмірами ділянки  $D_1 \dots D_{10} \dots D_{ij}$  за таких умов:

$$D_1 > D_2 > D_3 > D_4 > D_5 > D_6 > \dots > D_{10} > D_{ij} \approx t_{ij} \quad (28)$$

І у випадку наближення дотичного кута до  $180^\circ$  виникає умова, що  $D_{ij} = t_{ij}$ , а Ш-подібна форма зовнішньої частини клейового шара перетворюється, через поступове випрямлення, у площину.

Для визначення впливу зміни товщини клейового шару на кути обхвату і дотичні кути, а також зміни прикладених зусиль розкривання книжкового блоку, побудовано розрахункову схему (рис. 15) визначення моментів сили

прикладених в дискретних місцях перегинань пластин товщиною  $t$  мм і  $t + \Delta_{gl}$  мм.

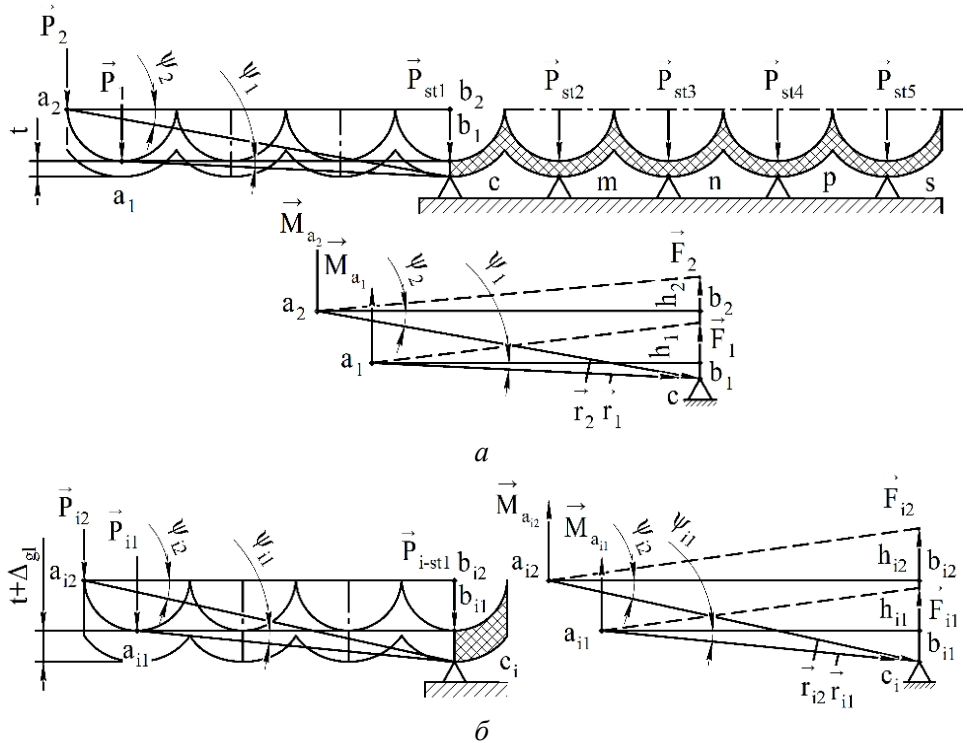


Рис. 15. Просторова система сил прикладених до кінцевої частини книжкового блоку в процесі розкривання блоку: *a* – розрахункова схема для клейового шару товщиною  $t$  мм; *б* – розрахункова схема для клейового шару товщиною  $t + \Delta_{gl}$  мм;

Моделювання перегинань пластини товщиною  $t$  мм здійснено в точці  $c$ . Для експериментальних відображень, момент сили, завдяки якому відбувається перегинання в цій точці, прикладений в точці  $a_1$ , яка позиціонується в місці розкривання блоку посередині зошта, в зоні обмеженої кутом обхвату. Наступна орієнтація місця прикладання моменту сили знаходиться в точці  $a_2$ , яка позиціюється в місці розкривання блоку між зоштами, де утворені дельтоподібні клейові припливи (рис. 15, *a*). В таких же самих точках  $a_{i1}$  і  $a_{i2}$  виконано моделювання перегинань, що здійснено в точці  $c_i$ , для пластини товщиною  $t + \Delta_{gl}$  (рис. 15, *б*).

Частина книжкового блоку, яка лишається нерухомою під час його відкривання в точці  $c$ , позначена як така, у якій контакт із фіксувальною площиною відбувається в точках  $c, m, n, p, s$ , в силу конструктивних

особливостей III-подібної поверхні корінцевих фальців. Статичні зусилля, що утримують цю частину блока в нерухомому стані позначено, як  $\overrightarrow{P_{st1}}, \overrightarrow{P_{st2}} \dots \overrightarrow{P_{st5}}$  (рис. 15, а).

У першому випадку, коли для перегинання клейової пластини в точці с прикладено силу  $\overrightarrow{F_1}$ , яка перевищує пружні властивості, властивості міцності й жорсткості пластини, в точці  $a_1$  утворюється початковий трикутник деформації, позначений точками  $a_1b_1c$ , початок руху вершини якого в точці  $a_1$  призводить до початку розтягування пластини в точці  $b_1$ . На рис. 15, а зображена епюра моменту сили відносно точки  $a_1$  на якій векторною прямою  $a_1c$  позначений радіус-вектор  $\overrightarrow{r_1}$ , прямою  $a_1b_1$  – плече сили  $h_1$  і в точці с вектор  $\overrightarrow{F_1}$ . Момент сили  $\overrightarrow{F_1}$  відносно точки  $a_1$ :

$$\overrightarrow{M_{a_1}}(\overrightarrow{F_1}) = \overrightarrow{r_1} \times \overrightarrow{F_1}, \quad (29)$$

відповідно, модуль сили  $\overrightarrow{F_1}$ :

$$M_{a_1}(\overrightarrow{F_1}) = r_1 \times F_1 \times \sin \psi_1. \quad (30)$$

враховуючи плече сили  $h_1$ :

$$M_{a_1}(\overrightarrow{F_1}) = h_1 \times F_1. \quad (31)$$

На рис. 15, б зображено епюру моменту сили відносно точки  $a_{i1}$  для клейового шару товщиною  $t + \Delta_{gl}$  мм. При збереженні усіх показників розглянутих на епюрі (рис. 12, а) відмінним чинником є збільшення кута, який позначений, як кут  $\psi_{ij}$  між радіусом-вектором  $\overrightarrow{r_{i1}}$  і плечем сили  $h_{ij}$ , відповідно, модуль сили  $\overrightarrow{F_{i1}}$ :

$$M_{a_{i1}}(\overrightarrow{F_{i1}}) = r_{i1} \times F_{i1} \times \sin \psi_{i1}, \quad (32)$$

за умови  $h_1 = h_{i1}$ .

Збільшення кута  $\psi_{ij}$  стосовно кута  $\psi_1$  ( $\psi_{ij} > \psi_1$ ), відповідно, і показника  $\sin \psi_{ij}$  стосовно  $\sin \psi_1$  ( $\sin \psi_{ij} > \sin \psi_1$ ), збільшує розрахунковий показник моменту сили, який необхідно прикласти для перегинання III-подібної клейової пластини з товщиною  $t + \Delta_{gl}$  мм. В моменти докладання зусиль в точці  $a_2$  (рис. 12, а) і в точці  $a_{i2}$  (рис. 12, б), що розташовані на вершині гострої частини клейових шарів, товщиною  $t$  мм і  $t + \Delta_{gl}$  мм, в між зошитовим просторі, та за умови, що  $h_2 = h_{i2}$ , моменти сили розраховуються, як вищенаведені:

$$\overrightarrow{M_{a_2}}(\overrightarrow{F_2}) = \overrightarrow{r_2} \times \overrightarrow{F_2}, \quad (33)$$

$$\overrightarrow{M_{a_{i2}}}(\overrightarrow{F_{i2}}) = \overrightarrow{r_{i2}} \times \overrightarrow{F_{i2}}, \quad (34)$$

а їх модулі сили:

$$M_{a_2}(\overrightarrow{F_2}) = r_2 \times F_2 \times \sin \psi_2, \quad (35)$$

$$M_{a_{i2}}(\overrightarrow{F_{i2}}) = r_{i2} \times F_{i2} \times \sin \psi_{i2}. \quad (36)$$

враховуючи плече сили  $h_2$ :

$$M_{a_2}(\overrightarrow{F_2}) = h_2 \times F_2, \quad (37)$$

$$M_{a_{i2}}(\overrightarrow{F_{i2}}) = h_{i2} \times F_{i2}. \quad (38)$$

Порівняння показників моменту сили в різних точках її прикладання, під час розкривання книжкових блоків, свідчить про розмірну відмінність викликану, в першу чергу, змінами гострих кутів в умовних прямокутних трикутниках розрахунку моментів сили. Трикутники вибудовані на перерізах клейових пластин, у яких протилежною стороною до означених гострих кутів є протилежний катет, розмірна довжина якого залежить від зміни товщини клейового шару. Найбільші зусилля для перегинання клейової пластини будуть прикладені на вершині дельтоподібних ділянок, через додаткову товщину у порівнянні із півкруглими ділянками.

Розроблено методику розрахунку необхідної й достатньої кількості клею для окантовування Ш-подібної корінцевої частини книжкових блоків зшитих нитками для чого розглянуто переріз корінцевої клейової пластини, яка утворена на поверхні фальців зошитів, частина яких має різну за обсягами кількість сторінок. На рис. 16 зображено переріз корінцевої клейової пластини у якої 1-й, 2-й, 3-й і 6-й зошити мають однакові діаметри півкруглої частини  $d_1=d_2=d_3=d_6$ , що відповідають обсягам у 32 сторінки. А 4-й і 5-й зошити мають інші, менші діаметри півкруглої частини фальців,  $d_1>d_4>d_5$ , що відповідають обсягам у 24 і 16 сторінок.

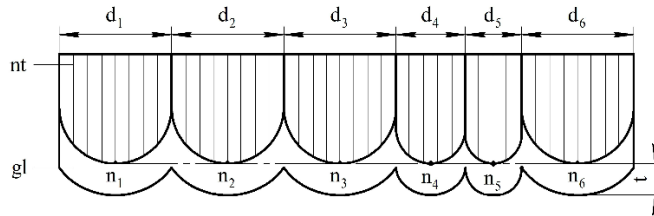


Рис. 16. Переріз корінцевої частини книжкового блоку скомплектованого зошитами з різною кількістю сторінок,  $nt$  – корінцеві частини зошитів;  $gl$  – шар клею;  $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$  – діаметри півкруглої частини фальців;  $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6$  – точки розташування стібків ниток;  $t$  – товщина клейового шару.

На рис. 17 зображено геометричну побудову частини перерізу корінцевої полімерної пластини, виокремленої з пластини на рис. 16. Для відтворення геометрії перерізу і проведення розрахунків зосереджено увагу на ділянці пластини, що містить половину клейового шару дотичного до півкруглого фальца зошита з діаметром  $d_2$  ( $0,5d_2$ ), клейові шари з діаметрами  $d_3, d_4, d_5$  і половина клейового шару  $d_6$  ( $0,5d_6$ ).

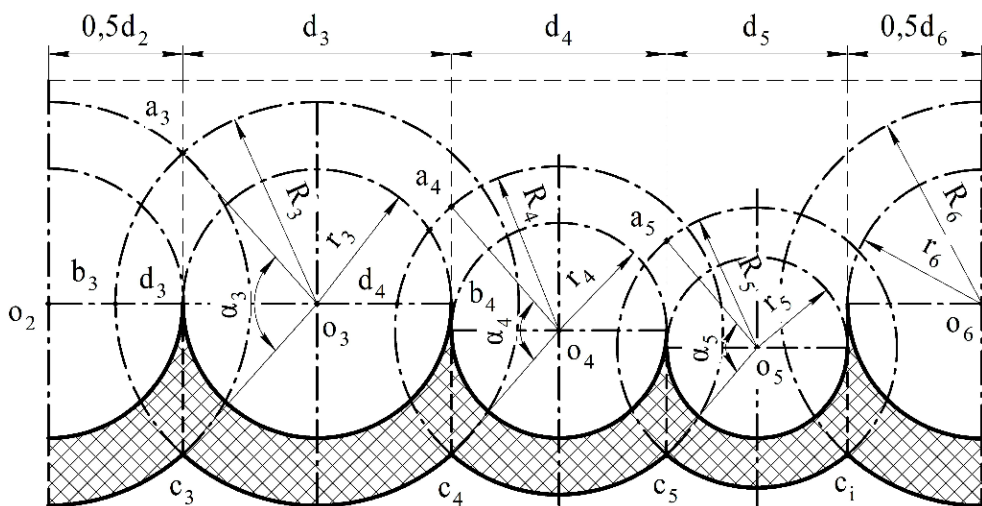


Рис. 17. Геометрична побудова частини перерізу клейової полімерної пластини з півкруглими фальцями різних розмірів.

Необхідно відзначити, що геометричну побудову клейового шару здійснено за допомогою концентричних кіл, які утворили кільця із внутрішніми радіусами  $r_i$ , що дорівнюють зовнішній частині півкруглих фальців зошитів, зшитих нитками. І зовнішніми радіусами  $R_i$ , що відповідають зовнішній півкруглій частині клейового шару. Враховуючи тотожність декількох кілець, що формують клейовий шар для фальців зошитів 1, 2, 3, 6, в яких півкруглі частини  $d_1=d_2=d_3=d_6$ , та наявність фальців зошитів, з іншими радіусами округлень  $d_4$  і  $d_5$ , де  $d_4 \neq d_5 \neq d_1$ , сумарна площа перерізу  $S_{\Sigma gl}$  клейової пластини зображеної на рис. 16 і рис. 17 для загального випадку:

$$S_{\Sigma gl} = 4 \cdot S_{pr(R_3-r_3)} + S_{pr(R_4-r_4)} + S_{pr(R_5-r_5)} + S_{segm(1)} + S_{segm(6)}, \quad (39)$$

де  $S_{pr(R_3-r_3)} = S_{pr(R_1-r_1)} = S_{pr(R_2-r_2)} = S_{pr(R_6-r_6)}$  — площа частини клейового кільця для однакових фальців зошитів ( $S_{pr} = S_{part \text{ of the ring}}$ );

$S_{pr(R_4-r_4)}$  і  $S_{pr(R_5-r_5)}$  — площа частин кільця з іншими радіусами;

$S_{segm(1)}$  і  $S_{segm(6)}$  — площі крайніх сегментів клейового шару.

Для загального випадку:

$$S_{\Sigma gl} = n_1 S_{pr(R_1-r_1)} + n_2 S_{pr(R_2-r_2)} + n_3 S_{pr(R_3-r_3)} + \dots + n_i S_{pr(R_i-r_i)} + S_{segm(1)} + S_{segm(i)} \quad (40)$$

Дотичні частини загального клейового шару з центрами  $o_3, o_4, o_5$ , як такі, що відповідають особливостям структурної побудови шару. Розраховано

площу ділянки кільця з центром  $o_3$ , як одну із чотирьох однакових з центрами  $o_1, o_2, o_3$  і  $o_6$  (рис. 16, рис. 17).

$$S_{pr}(3) = S(3)_{d_3 b_3 c_3 d_3} - S(3)_{b_3 c_3 d_3} - S(3)_{d_3 c_3 b_3}, \quad (41)$$

$$\text{де } S(3)_{d_3 b_3 c_3 d_3} = 0,5\pi(R_3^2 - r_3^2), \quad (42)$$

$$S(3)_{b_3 c_3 d_3} = 0,25R_3^2(\alpha_3 - \sin \alpha_3), \quad (43)$$

кут  $\alpha$  – в радіанах.

$$S(3)_{d_3 c_3 b_3} = 0,25R_3^2(\alpha_3 - \sin \alpha_3). \quad (44)$$

$$S_{pr}(3) = 0,5\pi(R_3^2 - r_3^2) - 0,5R_3^2(\alpha_3 - \sin \alpha_3). \quad (45)$$

Для ділянок клейового шару з центрами  $o_4$  і  $o_5$ :

$$S_{pr}(4) = 0,5\pi(R_4^2 - r_4^2) - 0,5R_4^2(\alpha_4 - \sin \alpha_4), \quad (46)$$

$$S_{pr}(5) = 0,5\pi(R_5^2 - r_5^2) - 0,5R_5^2(\alpha_5 - \sin \alpha_5). \quad (47)$$

Для загального випадку розрахунку площі ділянки клейового шару з різними радіусами геометричного кільця:

$$S_{pr}(i) = 0,5\pi(R_i^2 - r_i^2) - 0,5R_i^2(\alpha_i - \sin \alpha_i). \quad (48)$$

Відмінною особливістю такого розрахунку є, не лише виокремлення тотожних ділянок клейового шару і їх сумарний розрахунок, залежний від радіусів півкруглих ділянок фальців зошитів, але і розрахунок бічних сегментів клейового шару, за допомогою запропонованого математичного підходу.

На рис. 18 зображено геометричну побудову лівої та правої бічної частини клейового шару, які, окрім ділянок, виокремлених плоскопаралельними лініями, і розрахунок яких наведено вище, містять ще і ділянки з площиною частини сегментів з вершинами  $b_1, c_1, d_1$  і  $d_6, c_6, b_6$ .

Для сегментів клейового шару в першому та останньому зошитах, у яких, в цьому випадку, радіуси півкруглих фальців зошитів однакові:

$$S_{segm(1)} = S(1)_{b_1 c_1 d_1} = 0,25R_1^2(\alpha_1 - \sin \alpha_1), \quad (49)$$

$$S_{segm(6)} = S(6)_{b_6 c_6 d_6} = 0,25R_6^2(\alpha_6 - \sin \alpha_6). \quad (50)$$

Для загального випадку:

$$S_{segm(j)} = S(j)_{b_j c_j d_j} = 0,25R_j^2 (\alpha_j - \sin \alpha_j) \quad (51)$$

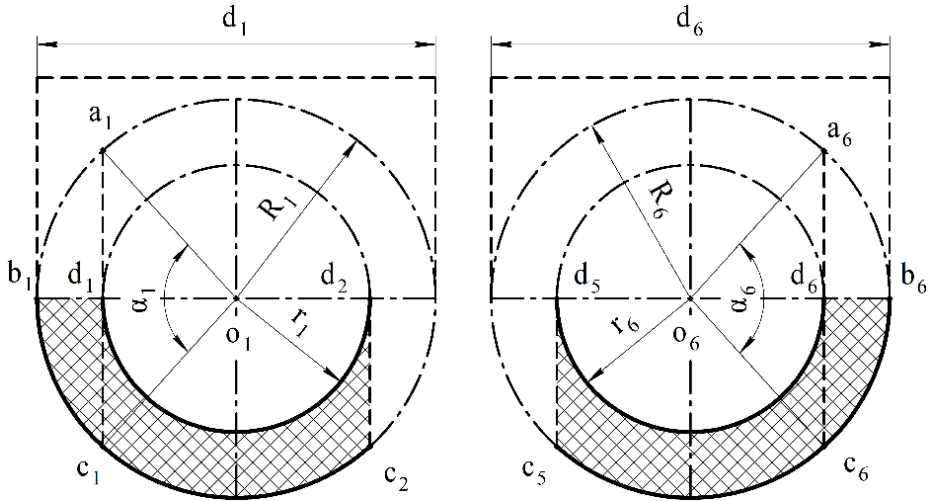


Рис. 18. Геометрична побудова перерізу клейової полімерної пластини в крайніх ділянках

Тому загальна площа перерізу Ш-подібного клейового шару, сформованого на поверхні півкруглих частин фальців зошитів, з різними радіусами, для випадку зображеному на рис. 16 дорівнює:

$$S_{\Sigma gl} = 4 \left[ (0,5\pi(R_3^2 - r_3^2) - 0,5R_3^2(\alpha_3 - \sin \alpha_3)) \right] + 2 \cdot 0,25(R_3^2(\alpha_3 - \sin \alpha_3) + 0,5\pi(R_4^2 - r_4^2) - 0,5R_4^2(\alpha_4 - \sin \alpha_4) + 0,5\pi(R_5^2 - r_5^2) - 0,5R_5^2(\alpha_5 - \sin \alpha_5)) \quad (52)$$

Після перетворень, отримано площу Ш-подібного клейового шару, враховуючи особливості його побудови (рис. 16):

$$S_{\Sigma gl} = 2\pi(R_3^2 - r_3^2) - 1,5R_3^2(\alpha_3 - \sin \alpha_3) + 0,5\pi(R_4^2 - r_4^2) - 0,5R_4^2(\alpha_4 - \sin \alpha_4) + 0,5\pi(R_5^2 - r_5^2) - 0,5R_5^2(\alpha_5 - \sin \alpha_5) \quad (53)$$

Завдяки цьому, розроблено блок схему алгоритму імітаційної моделі обрахунку товщини окантовувального клейового шару та проведено технологічний розрахунок нормативів витрат клею Technomelt Q3660 (Німеччина) у виробництві для тиражної кількості у 1000 примірників книг, зшитих нитками, за формулою

$$N_{gl} = 1000 \frac{K_{gl}}{S_{\Sigma gl}} (z / m^2), \quad (54)$$

де  $K_{gl} = S_{\Sigma gl} \times h \times \rho_k \times k_y$ ,  $S_{\Sigma gl}$  – площа перерізу клейового шару;  $h$  – обрізна



довжина книжкового блоку;  $\rho_k$  – щільність клею під час нанесення шару;  $k_y$  – коефіцієнт усадки після висушування блоку.

Отримані впродовж проведених досліджень показники кількості клею для профільного окантовування корінцевої частини книжкових блоків, зшитих нитками, на 1 тис. примірників, а також нормативні витрати, для найбільш поширених форматів книжкових блоків, зведено у табл. 2.

Таблиця 2. Показники витрат термоклею Technomelt Q3660 (Німеччина) для окантовування корінців книжкових блоків зшитих нитками

Товщина блоку, мм	Висота книжкового блоку, мм									
	210		225		250		270		300	
	Витрати клею, г/м <sup>2</sup>									
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
40,0	5990	5334	6540	5824	7130	6349	7670	6830	8555	7618
45,0	6845	6063	7310	6475	8140	7210	8800	7795	9780	8663
50,0	7695	6779	8250	7269	9170	8080	9900	8722	11000	9692
55,0	8555	7497	9170	8037	10185	8926	11000	9641	12220	10710
60,0	9410	8218	10080	8803	11200	9781	12100	10568	13440	11738
65,0	9890	8622	10595	9237	11240	9799	12715	11085	14125	12315

*Примітки: 1 – нормативні показники; 2 – розрахункові показники.*

Експериментальними дослідженнями підтверджено (табл. 2), що скорочення витрат термоклею Technomelt Q3660 (Німеччина) відповідає діапазону у 12,3%-14,7%, що в середньому складає показник у 13,5%. Відповідно, кількість нанесеного клею на Ш-подібну корінцеву частину книжкового блоку, зшитого нитками, з розрахунку на 1 тис. примірників, складає 650,0 г/м<sup>2</sup> площі корінцевої частини книжкових блоків, в порівнянні з нормативними показниками 750 г/м<sup>2</sup>, які тривалий час застосовуються у виробництві книжкової продукції.

**У четвертому розділі «Розробка конструкцій та технології виготовлення ресурсоощадних напівжорстких обкладинок»** наведено результати виявлення технологічних особливостей виготовлення ресурсоощадних книжкових обкладинок, розробки їх класифікації, розробки технології виготовлення та оптимізації параметрів, розробки пристроїв для висікання розгортки обкладинок зі змінною товщиною корінцевої частини, розробки пристроїв для вперше введеного визначення міцності в поздовжньому і поперечному напрямку розташування волокон папітурних матеріалів виготовлення обкладинок. Досліджено конструктивні відмінності окремих видів

напівжорстких книжкових обкладинок та здійснено аналіз їх просторової побудови, подвійної клеєної, або без проклеювання. В результаті чого, виявлено сприятливий вплив крайок і клапанів, на забезпечення доданої міцності обкладинок. Внаслідок чого, застосовано системний підбір матеріалів, з метою дотримання мінімальних і достатніх витратних показників, що коливаються в залежності від форматів видань, обсягів сторінок і товщини корінцевої частини, відповідно.

В процесі розробки й дослідження обкладинок підвищеної жорсткості з властивостями частково притаманними відомим конструкціям палітурок, а також їх структурування і побудови класифікації враховано галузевий поділ книжкових оправ на обкладинки й палітурки. На рис. 19 наведено класифікацію напівжорстких обкладинок.

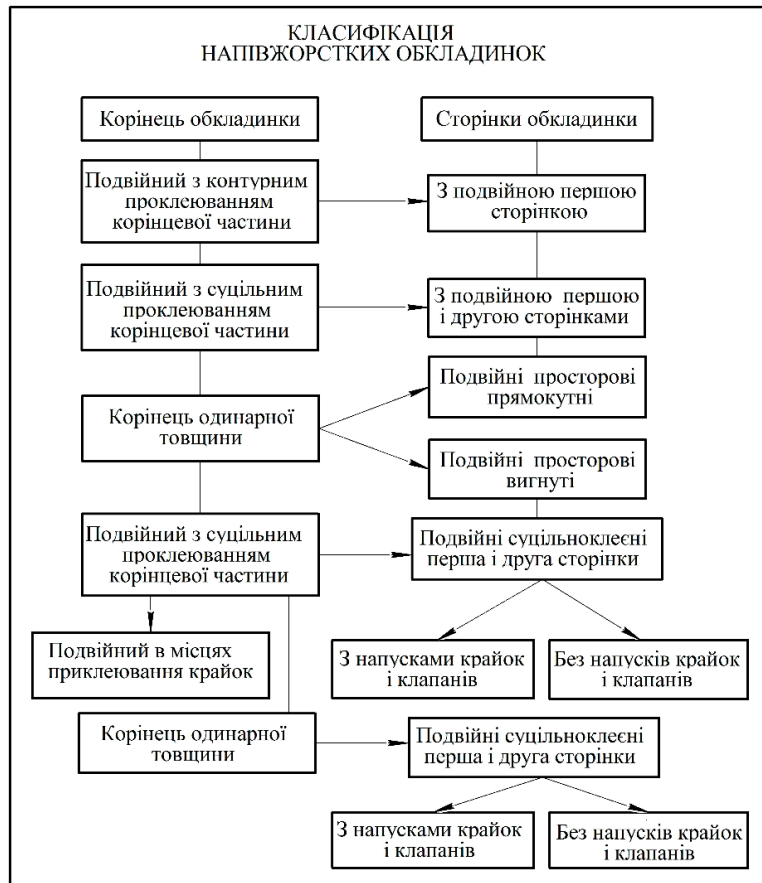


Рис. 19. Класифікація напівжорстких обкладинок

В основу факторів і чинників, врахованих в процесі побудови класифікації напівжорстких обкладинок, покладено умову виготовлення книжкової оправи з одного листа палітурного матеріалу, а також утворення доданої міцності й жорсткості, у порівнянні з обрізними обкладинками, внаслідок формування подвійної просторової конструкції, як без проклеювання, так і з частковим, або суцільним проклеюванням корінця і сторінок обкладинок.

На рис. 20, *a*, *б* зображено одну із конструкцій розроблених книжкових обкладинок, що має крайки шириною 5-18 мм у верхньому та нижньому полі обкладинки й два клапани, які за розмірами дорівнюють першій та другій сторінкам обкладинки (рис. 20, *a*), які загнуто всередину по передньому полю першої й другої сторінок обкладинки й приклеєно до них по всій площині, після того, як було загнуто всередину й приклеєно крайки у верхній й нижній частинах першої й другої сторінок обкладинки (рис. 20, *б*).

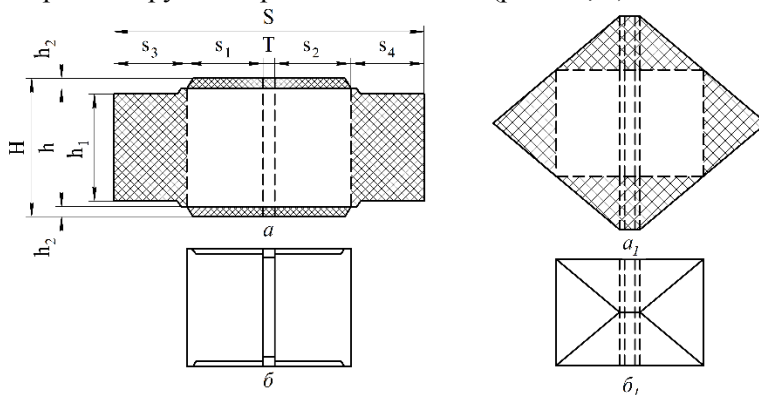


Рис. 20. Конструкції напівжорстких обкладинок з крайками і клапанами.  
Ширина розгортки напівжорсткої обкладинки (рис. 20, *a*)  $S$ :

$$S = s_1 + s_2 + s_3 + s_4 + T$$

$$s_1 = s_2 = s_3 = s_4 = s$$

$$S = 4s + T$$

де  $s_1, s_2$  - ширина першої і другої сторінок обкладинки,  $s_3, s_4$  - ширина клапанів першої і другої сторінок обкладинки,  $T$  - товщина блоку.

Висота розгортки обкладинки:  $H = h + 2h_2$ , де  $h$  - висота обкладинки,  $h_2$  - ширина крайок.

Приклеювання крайок і клапанів до внутрішньої частини обкладинки здійснено, для забезпечення міцності обкладинки, із частковим перекриттям їх конструктивних поверхонь, тому можливе рельєфне відтворення ділянок перекриття, через приклеєні форзаци (при використанні паперу менш ніж  $170 \text{ г/м}^2$ ), після вставки книжкового блоку у таку обкладинку. Для подолання вказаної технологічної особливості можливе застосування конструкцій

обкладинок підвищеної жорсткості із суцільним полем приклеєних елементів розгортки обкладинки без утворення напусків у місцях стиків (рис. 20, а<sub>1</sub>, б<sub>1</sub>).

У п'ятому розділі «Удосконалення технології склеювання напівжорстких обкладинок модифікованими клейовими композиціями» наведено результати теоретичного та експериментального дослідження впливу дискретного нанесення клею, а також модифікованих клейових композицій на міцність напівжорстких обкладинок. Це дозволило створити моделі формування порівняльних показників міцності від площі заповнення поверхонь склеювання і конфігурації нанесеного клею. А також виявити можливості підвищення міцності напівжорстких книжкових обкладинок після склеювання модифікованими палітурними клеями, що суттєво не збільшують товщину клейового шару та не змінюють контурну геометрію виготовлених обкладинок.

На рис. 21 зображено основні варіанти порівняльного дискретного нанесення клейових шарів для склеювання деталей напівжорстких обкладинок, де цифрами 1, 3, 5 позначено ділянки клейового валу без клею на поверхні, а 2, 4, 6 – ділянки каліброваних клейових впадин, що регулюють кількість нанесення клею. Клейовий вал (рис.21, а) має декілька радіальних колових пазів (2), утворених в тілі валу, що мають однакову ширину зі з'єднувальними елементами (1), розташованими в черговій послідовності з радіальними пазами. Ширина радіальних колових клейових пазів  $t_1$  і ширина з'єднувальних ділянок  $s_1$  тотожні, тобто  $t_1 = s_1$ .

Діаметр  $d_1$  позначає глибину радіального клейового паза, що регулює порційність нанесення клейового шару з однієї сторони. А діаметр  $D_1$  позначає, як загальний зовнішній розмір циліндричної утворювальної поверхні клейового валу і циліндричний розмір з'єднувальних ділянок, так і зовнішній розмір клейового шару розташованого в радіальних колових пазах.

На рис. 21, а<sub>1</sub> відтворено прямокутну частину клапана напівжорсткої обкладинки, що приклеюється до основної частини обкладинки, позначено сторонами  $B_1$  і  $C_1$  прямокутника. На поверхню клапану обкладинки нанесені стрічкоподібні шари клею шириною  $t_1$  і товщиною  $\tau_1$  (рис. 21, а<sub>2</sub>). Товщина клею  $\tau_1$  утворена нанесенням його в такій кількості, що забезпечує

розтискування  $\frac{\Delta_1}{2}$  за умови, що  $\frac{\Delta_1}{2} = \frac{s_1}{2}$ . Загальна величина розтискування

такого клейового шару  $\Delta$  має бути тотожною з шириною з'єднувальних ділянок  $s_1$  на яких відсутній будь-який шар клею,  $\Delta_1 = s_1$ . Враховуючи виконання попередньої умови, склеюванні поверхні частин напівжорсткої обкладинки при проходженні через стискальні, з зусиллями  $\overline{P}_1$ , валки каландру, перетворюють поверхню склеювання із дискретної у суцільну, із товщиною клейового шару  $\tau_2$  ( $\tau_2 < \tau_1$ ). З врахуванням розтискування клейового

шару  $(t_1 + \Delta_1)$ , площа дискретного нанесення клею  $(2_1)$ , (рис. 21, а<sub>1</sub>) на прямокутну частину клапану обкладинки  $B_1 \times C_1$  набула суцільного характеру  $(2_2)$ , (рис. 21, а<sub>3</sub>).

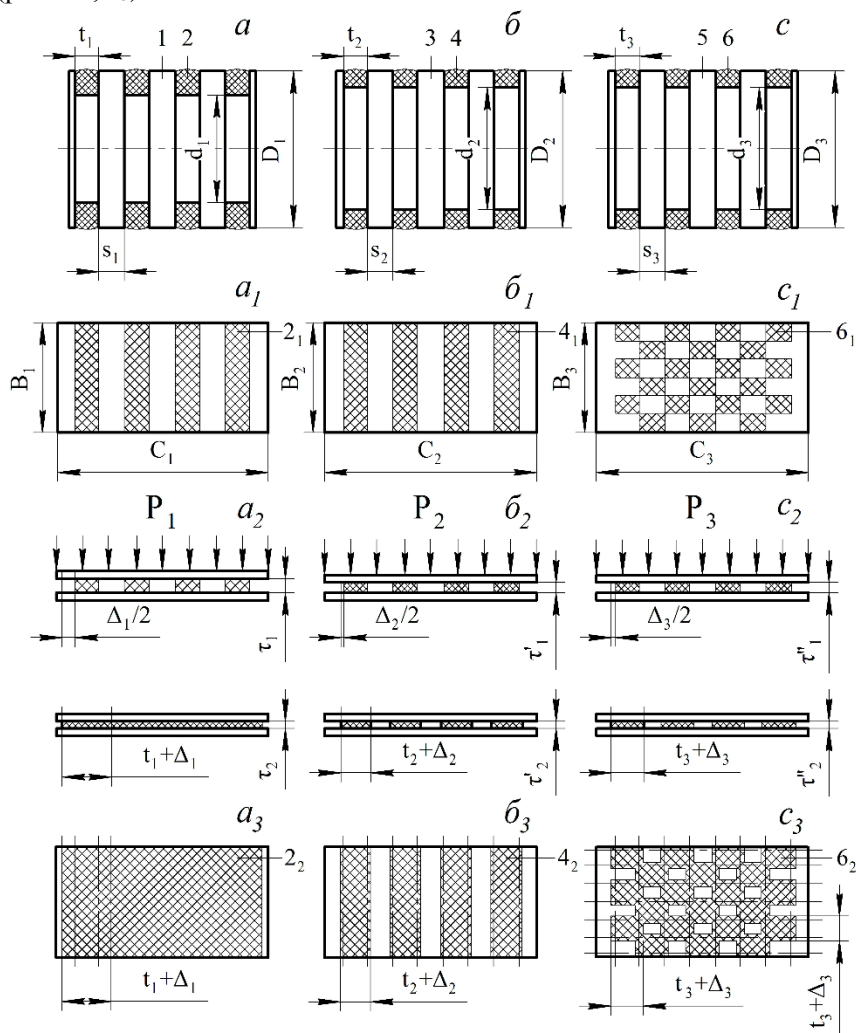


Рис. 21. Конструктивні особливості клейових валів і схем нанесення клею для виготовлення напівжорстких книжково-журнальних обкладинок

Інший варіант влаштування клейового апарату з дискретним нанесенням клею представлено на рис. 21, б. Об'єм клею  $V_{\text{кл}}$ , що нанесено на фрагмент прямокутної частини клапана напівжорсткої обкладинки, зі сторонами  $B_2$  і  $C_2$ :

$$V_{\text{кл}} = (D_2 - d_2) \times t_2 \times n, \quad (44)$$

де  $D_2$  – зовнішній діаметр клейового валу і зовнішньої поверхні клею, що знаходиться в радіальних колових пазах;  $d_2$  – внутрішній діаметр клейових колових пазів;  $t_2$  – ширина клейового паза;  $L$  – довжина клейової стрічки;  $n$  – кількість клейових стрічок.

Товщина клейового шару  $\tau'_2$ , з врахуванням розтискування:

$$\tau'_2 = \frac{V_{\text{кл}}}{t_2 + \Delta_2}, \quad (45)$$

де  $\Delta_2$  – розмірний показник розтискування.

За умов рівності розмірів ширини клейових радіальних колових пазів і ділянок клейового валу вільних від клею ( $t_2 = s_2$ ), площа внутрішньої заклеєної поверхні фрагменту клапана обкладинки, після каландрування (із притискним зусиллям  $\overline{P}_2$ ) і відповідного розтискування клею, збільшиться по ширині клейової стрічки, у порівнянні з початковою, і буде дорівнювати:

$$S = \frac{t_2 + \Delta_2}{t_2} \times L \times n \times 100\%. \quad (46)$$

Можливий варіант стрічкового нанесення клею, в якому початкова ширина ділянок без клею більша за ширину ділянок з нанесеним клеєм на розмір подальшого розтискування, що дозволяє отримувати рівномірні ділянки після завершення склеювання і каландрування готового виробу. Відповідно

$$s_2 > t_2 = t_2 + \Delta_2. \quad (47)$$

На рис. 21, с представлено клейовий вал коміркового типу, що здійснює нанесення клейового шару у шаховому порядку з перемінним чергуванням комірок з клеєм і з'єднувальних ділянок без клею.

Напівжорсткі обкладинки виготовлені комірковим способом нанесення клею, з подальшим його незначним розтискуванням, придатні для з'єднання з книжковими блоками через приклеювання до форзаців і не утворюють дефектів, як зовнішньої поверхні обкладинок, так і їх внутрішньої структури.

Шахове розташування комірок передбачає розмірне розтискування  $\Delta_3$  (із зусиллям стискання  $\overline{P}_3$ ) клейових клітинок не лише в поздовжньому напрямку, а і в поперечному напрямку, що на відміну від стрічкового нанесення клею, суттєво зменшує поверхню обкладинки, на якій клей відсутній, на величину поперечного розтискування клітинок.

Довжина фрагменту обкладинки, на який нанесено клей, дорівнює довжині утворювальної клейового валика:  $S_{\text{кола}} = L_{\text{обкл}}$ . Ширина клейового валу дорівнює ширині фрагменту обкладинки, на якому розташовано довільну кількість клітинок, яка дорівнює цілому числу. Розміри клейових клітинок з розтискуванням і квадратних ділянок, на яких клей відсутній, – тотожні.

Для загального випадку, кількість клітинок з клеєм і без клею, розташованих на утворювальній площині клейового валу:

$$n = \frac{\pi D}{2(t + \Delta)}, \quad (48)$$

де  $D$  – діаметр клейового валу;  $t$  – розмір сторони клейової комірки;  $\Delta$  – розмір двостороннього розтискування клею.

Загальна площа клейових комірок:

$$S_k = \frac{\pi D}{2(t + \Delta)} \times t^2 \times m, \quad (49)$$

де  $m$  – кількість цілих рядів клітинок вздовж клейового валу.

Відповідно, загальна площа клейової поверхні, утвореної комірковим нанесенням клею, з врахуванням розтискування:

$$S_{\text{кл}} = \frac{\pi D(t + \Delta)^2}{2(t + \Delta)} \times m = \frac{1}{2} \pi D(t + \Delta) \times m. \quad (50)$$

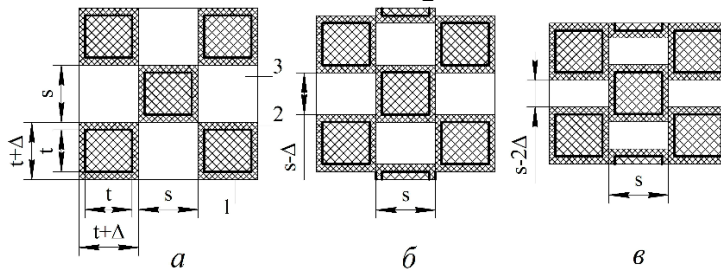


Рис. 22. Конструктивне розташування квадратних клейових комірок і послідовна зміна площі нанесення клею,  $a$  – шахове розташування зон нанесення клею з розтискуванням;  $b, v$  – розташування зон нанесення клею зі зміщенням; 1 – зона комірки; 2 – зона розтискування; 3 – зона вільна від клею.

На рис. 22 зображено конструктивні особливості розташування клейових зон, утворених комірковими клейовими валами, у яких прямокутні комірки розташовано у шаховому порядку, або зі зміщенням одного ряду комірок відносно іншого. Структуроване шахове розташування квадратних клейових зон (рис. 19,  $a$ ) поділяє конструктивну поверхню приклеєної деталі обкладинки навпіл: 50% площі обкладинки з нанесеним клеєм, 50% – без клею. На рис. 22,  $b$  зображено квадратні клейові зони із суміщенням на розмір розтискування клею  $\Delta$  ( $s - \Delta$ ). Загальна площа клейової поверхні:

$$S_{\text{кл}(b)} = \frac{\pi D}{(t + \Delta) + (s - \Delta)} \times (t + \Delta) \times m = \frac{\pi D}{s + s - \Delta} \times s \times m = \frac{\pi D}{2s - \Delta} \times s \times m. \quad (51)$$

На рис. 22,  $v$  зображено квадратні клейові зони із суміщенням на розмір подвійного розтискування клею  $2\Delta$  ( $s - 2\Delta$ ). Загальна площа клейової поверхні:

$$S_{\text{кл(в)}} = \frac{\pi D}{(t + \Delta) + (s - 2\Delta)} \times (t + \Delta) \times m = \frac{\pi D}{s + s - 2\Delta} \times s \times m = \frac{\pi D}{2(s - \Delta)} \times s \times m. \quad (52)$$

Під час планування експериментального дослідження у складанні і випробуванні модифікованих клейових композицій враховано, що плівки, отримані з PVA латексу, мають поліпшену гнучкість, пружність, високу адгезію й водостійкість в тому випадку, коли до них додані водорозчинні модифікатори. В перелік згущувачів й емульгаторів, сумісних з дисперсією PVAD DF 51/15B, як основи модифікування, для проведення експериментальних досліджень рецептурного складання полімерних сумішей входять: 1. крохмаль  $(C_6H_{10}O_5)_n$  – суміш полісахаридів амілози і амілопектину, мономером яких є альфа-глюкоза; 2. карбоксиметилцелюлоза – целюлозогліколева кислота  $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCH_2COOH)_x]_n$ , де  $x = 0,08-1,5$ ) – похідна целюлози, в якій карбоксилметильна група  $(-CH_2-COOH)$  з'єднується гідроксильними групами глюкозних мономерів; 3. порошкова целюлоза – являє собою дрібнодисперсний продукт деструкції целюлози й складається з частинок, найбільш поширеного розміру в 50 мкм, які є агрегатами мікрокристалітів целюлози. 4. каолін –  $H_4Al_2Si_2O_9$ , або  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ .

Випробування складених сумішей, основи й модифікаторів, визначили, придатний для застосування, при виготовленні напівжорстких обкладинок, ваговий діапазон вмісту кожної речовини в завершальній клейовій композиції (10 варіантів) представлено в загальному рецептурному вигляді, як:

$$\begin{aligned} PK_{\Sigma 1} &= N1(90) + N2(27,6) + N3(7,4) + N4(3,5) + N5(31,5) + H_2O(110), \\ PK_{\Sigma 2} &= N1(90) + N2(28,6) + N3(6,4) + N4(11,6) + N5(23,4) + H_2O(100), \\ PK_{\Sigma 3} &= N1(90) + N2(31,8) + N3(8,2) + N4(4,0) + N5(36,0) + H_2O(110), \\ PK_{\Sigma 4} &= N1(90) + N2(32,4) + N3(7,6) + N4(13,3) + N5(26,7) + H_2O(110), \\ PK_{\Sigma 5} &= N1(90) + N2(37,5) + N3(7,5) + N4(8,0) + N5(72,0) + H_2O(220), \\ PK_{\Sigma 6} &= N1(90) + N2(38,8) + N3(6,2) + N4(26,6) + N5(53,4) + H_2O(220), \\ PK_{\Sigma 7} &= N1(90) + N2(45,8) + N3(4,2) + N4(10,0) + N5(90,0) + H_2O(270), \\ PK_{\Sigma 8} &= N1(90) + N2(46,9) + N3(3,1) + N4(33,30) + N5(66,7) + H_2O(270), \\ PK_{\Sigma 9} &= N1(90) + N2(43,5) + N3(11,5) + N4(11,0) + N5(99,0) + H_2O(280), \\ PK_{\Sigma 10} &= N1(90) + N2(45,5) + N3(9,5) + N4(36,6) + N5(73,4) + H_2O(280), \end{aligned}$$

де  $PK_{\Sigma 1} \dots PK_{\Sigma 10}$  – виокремлені, з експериментального масиву, модифіковані полімерні клейові композиції, на основі дисперсії PVAD DF 51/15B, якими склеєно фрагменти напівжорстких обкладинок, що відповідають показникам міцності, вищими за показники міцності склеєних PVA дисперсією без модифікування.



На рис. 23 і рис. 24 представлено графічні залежності вагових складових речовин, використаних для модифікування клейових полімерних композицій, на основі РВА дисперсії, з метою збільшення міцності і твердості композитної структури напівжорстких обкладинок.

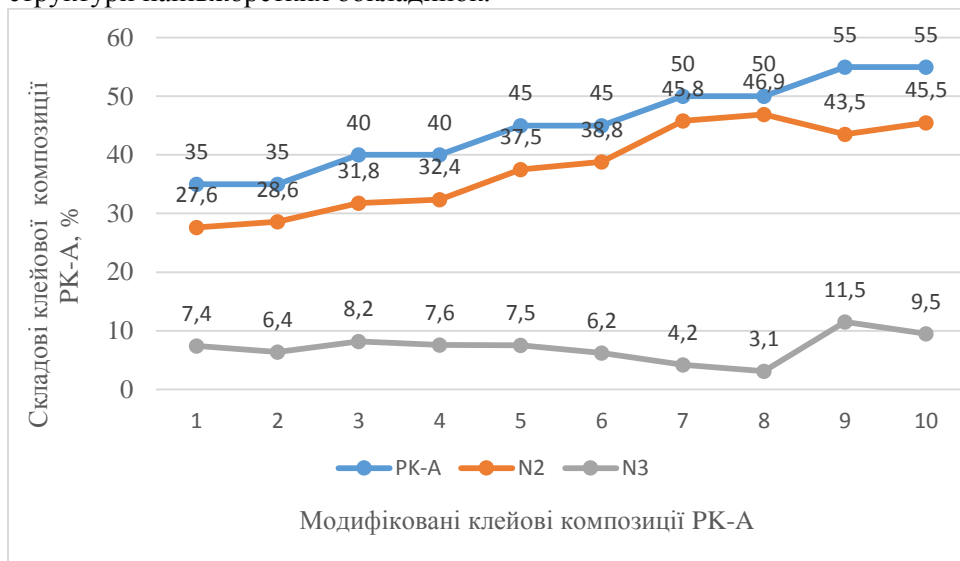


Рис. 23. Вагові компоненти N2 і N3 в клейовій композиції РК-А

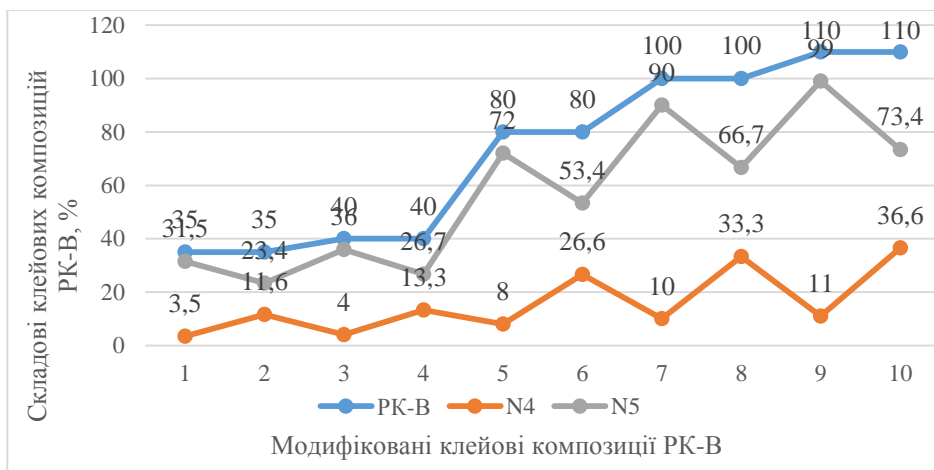


Рис. 24. Вагові компоненти N4 і N5 в клейовій композиції РК-В

Вплив клейових полімерних композицій на міцність напівжорстких обкладинок досліджено на розривній машині Instron 5982, з граничним зусиллям навантаження у 100 кН. Механічна система розривної машини

відповідає вимогам випробувань за стандартами ASTM, ISO, DIN, TAPPI, GB, JIS, ANSI та ін. Результати проведених досліджень показано на рис. 25.



Рис. 25. Показники зміни міцності склеєних модифікованими клеями фрагментів напівжорстких обкладинок

Виявлено, що найбільш сприятливими для застосування модифіковані клейові полімерні композиції на основі PVAD DF 51/15B позначено в рецептурному переліку позиціями 7, 8, 9, 10, з суттєвими дотичними результатами збільшення міцності обкладинок, під час розтягування, у 9,8%, 10,9%, 11,3%, 12,2%.

**У шостому розділі** *«Науково-практичні засади проєктування механізмів експериментальної лінії для виготовлення напівжорстких обкладинок»* розглянуто технологічні особливості конструювання експериментальної лінії для виготовлення напівжорстких обкладинок. Визначено перелік необхідних і достатніх технологічних операцій виготовлення напівжорстких книжкових обкладинок з розрахованою контурною і структурною побудовою, які відбуваються суцільним швидкісним потоком прямолінійного переміщення заготовок між секціями фальцювально-склеювальної лінії (рис. 26).

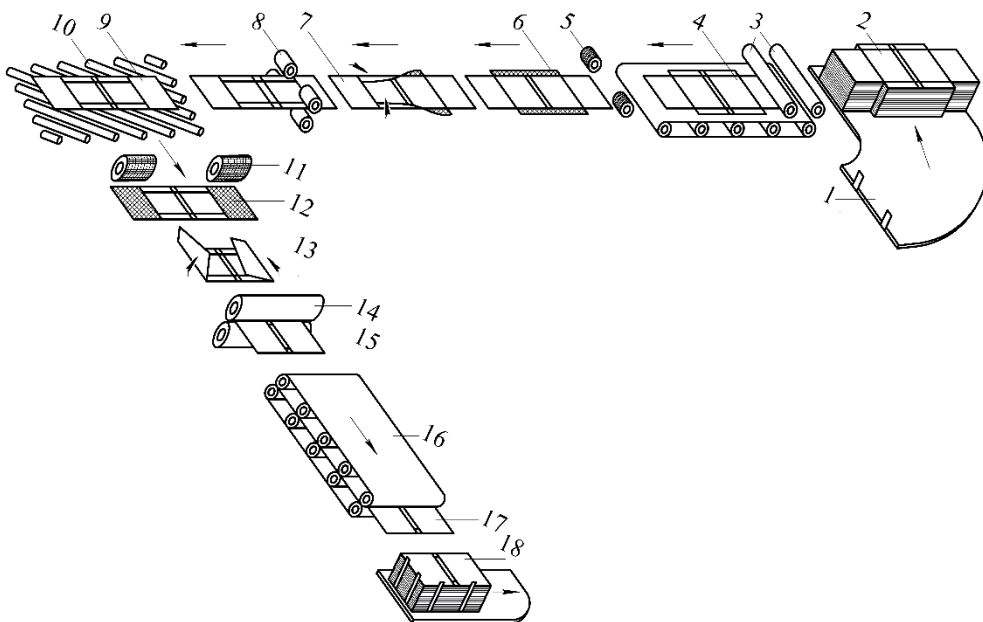


Рис. 26. Технологічна схема виготовлення напівжорстких обкладинок на експериментально-дослідницькій фальцювально-склеювальній лінії.

До складу лінії входять модульні секції виконавчих механізмів, що забезпечують послідовні операції виготовлення напівжорстких обкладинок: 1 – завантажувальний бункер з приверткою розгортки; 2 – розгортки заготовок обкладинок; 3 – лінійний самонаклад розгортки; 4, 6, 7, 9, 13, 15, 17 – позиції контурних перетворень розгортки на стадіях виготовлення обкладинок; 5 – механізм нанесення клею на крайки; 7 – відхиляюче гвинтове фальцювання крайок; 8 – ролико-валковий механізм обертового пресування крайок; поворотний рольганг; 11 – механізм нанесення клею на клапани; 12 – клейовий шар; 14 – ролико-валковий механізм обертового пресування клапанів; 16 – механізм завершального каландрування і обтискання загальної площини обкладинки; 18 – привертка виготовлених обкладинок.

При проектуванні силової частини фальцювально-склеювальної лінії, враховано спільну роботу всіх виконавчих механізмів і приводу. Рівняння кінетичної енергії лінії:

$$A_{\Sigma m} - A_{\Sigma res} = T_{\Sigma end} - T_0, \quad (53)$$

де  $A_{\Sigma m}$  - робота здійснена двигунами приводів виконавчих механізмів;  
 $A_{\Sigma res}$  - робота всіх сил опору лінії;  $T_{\Sigma end}, T_0$  - кінетична енергія лінії в кінцевому

циклі виготовлення обкладинок і на початку циклу подачі першої розгортки самонакладом.

Рівняння руху машинного агрегату залежно від виду діючих сил:

$$A_{\Sigma m} - (A_{\Sigma tres} - A_{\Sigma fr} - A_{\Sigma res} \pm A_{\Sigma in} \pm A_{\Sigma wl}) = 0 \quad (54)$$

де  $A_{\Sigma tres}$ ,  $A_{\Sigma fr}$ ,  $A_{\Sigma res}$ ,  $A_{\Sigma in}$ ,  $A_{\Sigma wl}$  - показники роботи необхідної для подолання технологічних опорів виконавчих механізмів, сил тертя, інерції і ваги ланок.

При віднесенні до одиниці часу перелічених складових енергетичного балансу:

$$N_{\Sigma m} - (N_{\Sigma tres} - N_{\Sigma fr} - N_{\Sigma res} \pm N_{\Sigma in} \pm N_{\Sigma wl}) = 0 \quad (55)$$

$N$  – потужності відповідних сил.

Досліджено, що на умови забезпечення допусків, тиражної сталості й композитної структурності напівжорстких обкладинок впливають процеси гвинтового фальцювання крайок і клапанів (рис. 27) та їх швидкісного приклеювання ролико-валковими механізмами (рис. 28), що здійснюють обертальне пресування обкладинок і їх координоване транспортування в процесі виготовлення.

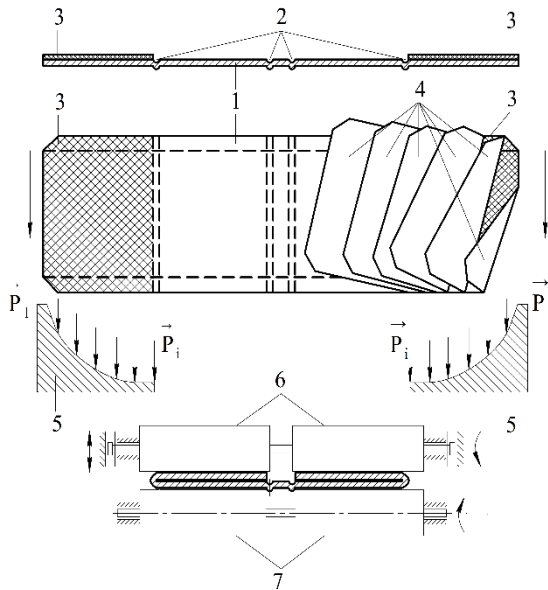


Рис. 27. Технологічний процес відхильного гвинтового фальцювання,  
1 – розгортка обкладинки,  
2 – біговальні контури місць згинання, 3 – шар клею,  
4 – етапи фальцювання,  
5 – гвинтові напрямні,  
6 – механізм обертального пресування,  $\vec{P}_1 \dots \vec{P}_i$  - зусилля опору напрямних

Виявлено, що після нанесення клею, в процесі гвинтового фальцювання, крайки й клапани прилягають до основної площини обкладинки

не одночасно, як це відбувається в машинах з виготовлення палітурок, а поступово, в міру загибання в фальцювальному пристрої. Тому, композитна структура обкладинки, з приєднаними через клейовий шар крайками і клапанами, до входження в ролико-валковий механізм (рис. 28) координато-

транспортувальній секції, для подальшого ущільнення, перебуває в хиткому просторовому становищі, схильному до легкої втрати прямокутної геометрії зовнішнього контуру.

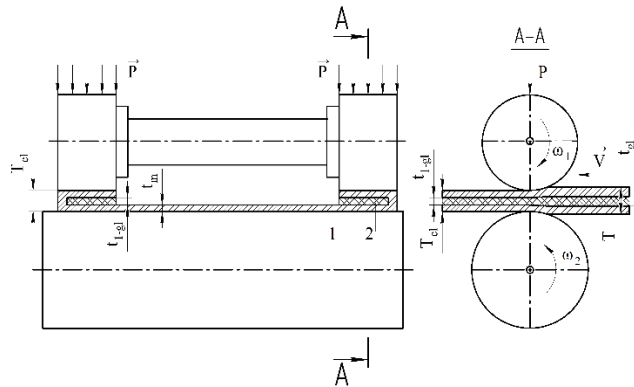


Рис. 28. Кінематична схема обертального пресування напівжорсткої обкладинки: 7 – палітурний матеріал обкладинки; 8 – клей;  $T$  – товщина обкладинки до пресування;  $T_1$  – зазор між роликami і опорним валом, товщина обкладинки після пресування;  $t_{gl}$  – товщина клею до пресування;  $t_{1-gl}$  – товщина клею після пресування;  $P$  – розподілені зусилля в момент пресування;  $\vec{V}$  – швидкість і напрямок руху обкладинки

Жорсткість обкладинки, на початку входження в зону пресування, мінімальна, а потім швидко зростає, в міру ущільнення композитної структури в ролико-валковому механізмі,  $T > T_1$  і  $t_{gl} > t_{1-gl}$  (рис. 28). Зусилля обтискування регулюються розмірами зазорів  $T_1$ , що встановлюються між парою притискних роликів та приводним опорним силовим валом. На вході в секцію враховується подвійна товщина палітурного матеріалу й товщина клейового шару  $T = 2 \times t_m + t_{gl}$ , а також товщина обкладинки  $T_1$ , що має бути отримана після виходу із секції (рис. 24).

Ролико-валкова група механізму обертального пресування забезпечує стабільні умови виконання технологічних процесів, завдяки жорсткості притискних роликів і дотримання постійного тиску між ними й опорним валом.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень розв'язано важливу науково-прикладну проблему розроблення теоретичних і практичних засад технологічного забезпечення якості книжкової продукції. При цьому отримані такі результати:

1. Обґрунтовано теоретичні та практичні основи процесів моделювання і виготовлення напівжорстких обкладинок методом висікання розгортки із паперу та картону пристроями змінної контурної геометрії, з подальшим склеюванням додаткових конструктивних деталей, у вигляді крайок і клапанів, з основою обкладинок.

2. Створено концептуальну модель оптимізації структурно-фізичних властивостей клейових з'єднань як засобу підвищення показників міцності напівжорстких обкладинок, в результаті склеювання їх конструктивних складових модифікованими полімерними клейовими композиціями, на основі полі-вініл-ацетатних дисперсій (ПВАД) та сумішей модифікованих полімерних згущувачів і емульгаторів, сумісних з ПВАД латексами, введених в їх структуру в різних вагових пропорціях;

3. Виявлено й експериментально підтверджено вплив дискретного несення клею суцільним стрічковим і комірковим шаховим методами заповнення поверхонь склеювання, на міцність напівжорстких обкладинок, які забезпечують їх структурну однорідність і стійкість до розшарування, сприяючи мінімізації кількісного застосування клейових композицій;

4. Створено і практично підтверджено розрахункові моделі деформації Ш-подібного клейового шару корінцевої частини книжкових блоків зшитих нитками, впливу палітурних клеїв на природні кути розкривання книжкових блоків, процесів кутового зсуву корінцевої полімерної клейової пластини, впливу товщини Ш-подібного клейового шару на зміну дотичних кутів і кутів обхвату.

5. Експериментально встановлено особливості скріплення Ш-подібної корінцевої частини книжкових блоків, зшитих нитками та розроблено методологію розрахунку профільного нанесення клейового шару на корінцеву частину блоків, яка враховує площинну геометрію перерізу, що залежить від розмірних відмінностей півкруглих фальців зошитів з різним обсягом сторінок.

6. Розроблено вимірювальний пристрій і технологію розподіленого вимірювання міцності палітурних матеріалів виготовлення напівжорстких обкладинок, що сприяє визначенню мінімальних і максимальних складових вимірювання, які доцільно використовувати в розташуванні на друкарських аркушах технологічно обґрунтованих розкладок розгортки обкладинок. Перегинання яких в процесі читачького використання більш сприятливе за тривалістю в поздовжньому, для розташування волокон, напрямку.

7. Розроблено та реалізовано ресурсоощадний технологічний процес виготовлення інноваційних ергономічних напівжорстких обкладинок з розрахованою контурною і структурною побудовою, що передбачає жорсткі допуски відхилення від прямокутної площинної геометрії, а в місцях стиків крайок і клапанів відсутність напусків однієї їх частини на інші;

8. Розроблено методику порівняльного оцінювання факторів впливу технологічних процесів виготовлення книжкової продукції в напівжорстких обкладинках, для визначення основних руйнівних чинників, способів їх мінімізації, або значного усунення, які показують фізико-механічні властивості й структуру контактувальних матеріалів – паперів, картонів і клейових полімерних композицій.

9. Розроблено математичну модель для визначення впливу товщини Ш-подібних клейових шарів на міцність скріплення корінцевої частини книжкових блоків зшитих нитками, яка враховує геометричну побудову клейової пластини і розраховану площу її перерізу, що сприяє мінімальним тиражним витратам клейових полімерних композицій під час здійснення технологічного процесу окантовування книжкових блоків.

10. Розроблено та реалізовано методику розрахунку необхідної і достатньої кількості клею для окантовування Ш-подібних корінців книжкових блоків, а також автономну програму автоматизації обрахунку витрат клею при окантовуванні корінцевої частини книжкових блоків, зшитих нитками для ОС Windows.

11. Досліджено етапи деформації корінцевої полімерної клейової пластини книжкових блоків зшитих нитками, при визначеній розмірній зміні товщини клейового шару, які відтворені на порівняльному експериментальному прикладі дискретного перегинання двох пластин з різною товщиною клейового шару, що окантовують фальцьовані зошити однакової каліброваної товщини у двох тотожних блоках.

12. Для експериментальних досліджень та виробничого застосування спроектована модульно-секційна фальцювальна-склеювальна лінія з виготовлення ресурсоощадних напівжорстких обкладинок, з визначальними, для забезпечення якісного виготовлення обкладинок, механізмами відхильного гвинтового фальцювання і ролико-валкової групи, що здійснює обертальне пресування склесних деталей обкладинок, з одночасним їх координованим транспортуванням.

13. Результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень впроваджено у виробництво Державного видавництва «Преса України», ТОВ «ПРИНТ МЕДІА», ТОВ «Виробничо-комерційне підприємство «СТ-ДРУК», на основі чого, Державному видавництву «Преса України» надані «Норми витрат клею при окантовуванні книжкових блоків зшитих нитками на лінії «Kolbus KM-600», застосування яких сприяє скороченню витратної складової на 12-14% для полі-вініл-ацетатних дисперсій (ПВАД), і на 10-12% для термоклеїв Technomelt Q3660 і ВАН 776 (Німеччина), в порівнянні з державними нормативними показниками, що в поточний період застосовуються у книжковому виробництві.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ** **Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації**

1. Paliukh O. Defining technological features in the manufacture of semi-hard book covers / O. Paliukh, P. Kyrychok, R. Trishchuk, M. Korobka, E. Dziadyk// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4/1 (106) 2020, p. 80-90. (SCOPUS – кuartиль Q2)

2. Kyrychok, P. Simulation of Deformation of the Adhesive Layer of the Spine of the Book Back of the Thread-Stitched Book Block / P. Kyrychok, O. Paliukh// Mechanics, 26 (2), 2020, p.114–119. (SCOPUS)

3. Kyrychok, P. Determining the influence of the thickness of an adhesive layer on a change in the angles of contact and tangent angles /P. Kyrychok, O. Paliukh, V. Oliynyk// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3/1 (105) 2020, p. 52-67. (SCOPUS – кuartиль Q2)

4. Rudenko, E. M. Nitriding in a helicon discharge as a promising technique for changing the surface properties of steel parts/ Rudenko, E. M. & Panarin, V. Ye. & Kyrychok, P. O. & Svavilnyi, M. Ye. & Korotash, I. V. & Palyukh, O. O. & Polotskyi, D. Yu. & Trishchuk, R. L.// (2019). Journal of Usp. Fiz. Met., 20, No. 3: 485–501. (SCOPUS – кuartиль Q2)

5. Paliuch Oleksandr Wpływ grubości warstwy kleju w kształcie litery W na wytrzymałość zamocowania części grzbietowej bloku książki /Oleksandr Paliuch, Petro Kyryczok// Przegląd papierniczy. 2020. № 8, p. 397-402. (INDEX COPERNICUS)

6. Paliukh O. Research of changes of strength indicators of semi-rigid covers glued by modified adhesive compositions / O. Paliukh, P. Kyrychok, R. Trishchuk, M. Korobka //Technology audit and production reserves — № 3/1(53), 2020, p. 27-31. (INDEX COPERNICUS)

7. Paliukh O. Analysis of the influence of binding adhesives on the structural strength of integral and semi-rigid covers/ O. Paliukh, P. Kyrychok, E. Dziadyk//Technology audit and production reserves — № 4/1(54), 2020, p. 38 – 43. (INDEX COPERNICUS)

8. Палюх О. О. Дослідження міцності книжкових блоків з різною довжиною корінцевої частини та змінних обсягів сторінок однакового формату /О. О. Палюх// Зб. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2017. - №1 (55). – с. 21-29. (INDEX COPERNICUS)

9. Палюх О.О. Дослідження клеючої здатності окремих видів клеїв для виготовлення книжкових оправ із палітурних матеріалів з різними технологічними властивостями /О. О. Палюх // Зб. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2017. - №3 (57). – с. 43-52. (INDEX COPERNICUS)

10. Палюх О.О. Експериментальне визначення міцності склеєних зразків паперу і картону для виготовлення книжково-журнальних обкладинок і



палітурок різних конструкцій /О. О. Палюх // 36. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2017. - №4 (58). – с. 11-24. (INDEX COPERNICUS)

11. Палюх О. О. Експериментальне визначення впливу палітурних клеїв на утворення природних кутів розкривання книжкових блоків /О. О. Палюх // 36. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2018. - №1 (59). – с. 37-47. (INDEX COPERNICUS)

12. Палюх О. О. Експериментальне визначення технологічних особливостей виготовлення напівжорстких книжково-журнальних обкладинок /О. О. Палюх // 36. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2018. - №2 (60). – с. 22-32. (INDEX COPERNICUS)

13. Киричок П. О. Експлуатаційні дослідження показників кутового зсуву клейової полімерної пластини корінцевої частини книжкового блоку /П. О. Киричок, О. О. Палюх // 36. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2018. - №3 (61). – с. 28-38. (INDEX COPERNICUS)

14. Палюх О.О. Дослідження конструктивних відмінностей окремих видів напівжорстких обкладинок /О. О. Палюх // 36. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2018. - №4 (62). – с. 48-59. (INDEX COPERNICUS)

15. Киричок П. О. Конструктивні особливості побудови пристроїв і штампів для виготовлення розгорток напівжорстких книжково-журнальних обкладинок /П. О. Киричок, О. О. Палюх // 36. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2019. - №1 (63). – с. 4-18. (INDEX COPERNICUS)

16. Paliukh O. The Device Design and the Measuring Technique of the Rigidity of Binding Materials for the Manufacture of Integral and Semi-Rigid Covers /О. Paliukh // 36. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2019. - №2 (64). – с. 4-14. (INDEX COPERNICUS)

17. Палюх О. О. Дослідження впливу дискретного нанесення клею на міцність півжорстких книжково-журнальних обкладинок /О. О. Палюх // 36. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2019. - №3 (65). – с. 25-42. (INDEX COPERNICUS)

18. Палюх О. О. Виявлення впливу модифікованих клейових композицій на механічні властивості напівжорстких обкладинок /О. О. Палюх // 36. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2019. - №4 (66). – с. 16-30. (INDEX COPERNICUS)

19. Палюх О. О. Дослідження впливу товщини клейового шару на площину дельтоподібних ділянок корінцевої частини книжкових блоків /О. О. Палюх// 36. наук. праць «Поліграфія і видавнича справа». – 2020. - №1(79). – с. 89-102. (G00GLE SCHOLAR)

20. Палюх О. О. Удосконалення технології окантування книжкових блоків зшитих нитками /О. О. Палюх, Є. А. Дзядик// 36. наук. праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2020. - №1-2 (68). – с. 14-28. (INDEX COPERNICUS)

## **Патенти**

21. Патент (на винахід) UA 119418 України B42D 3/00. Пристрій для висікання розгортки із паперу та картону книжкових обкладинок і палітурок одного книжкового формату./Киричок П.О., Палюх О. О./ Заявл.16.05.2018; Опубл.10.06.2019. – Бюл. №11.

22. Патент (на винахід) UA 121187 України B42D 3/00. Пристрій для визначення опору продавлювання картону або картону хромерзацу /Киричок П.О., Палюх О. О./ Заявл. 26.09.2019; Опубл.10.04.2020. – Бюл. №7.

23. Патент (корисна модель) UA 134723 України B42D 3/00. Напівжорстка книжково-журнальна обкладинка для криття блоків, підібраних позошитно і прошитих нитками, окантованих і обрізаних з трьох сторін. / Киричок П. О., Палюх О. О. / Заявл. 16.05.2018; Опубл. 10.06.2019. Бюл. № 1.

24. Патент (корисна модель) UA України B42D 3/00. Книжково-журнальна обкладинка для покриття блоків підібраних позошитно прошитих нитками окантованих і обрізаних з трьох сторін. / Киричок П. О., Палюх О. О. / Заявл. 28.08.2018; Опубл. 25.10.2019. Бюл. № 20.

### **Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

25. Палюх О. О. Розробка та дослідження транспортно-подаючих систем циклових поліграфічних машин /О. О. Палюх//Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Квалілогія книги" (Львів, 1996). – Львів: УАД, 1996. – с.

26. Палюх О. О. Синтез законів періодичного руху зблокованих кулачкових механізмів/О. О. Палюх//Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивна техніка і технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва» (Київ, 1998)

27. Палюх О. О. Особливості синтезу багатопозиційних оберткових транспортуючих пристроїв поліграфічних машин/О. О. Палюх//Матеріали І-ї Міжнар. конф. "Технологія і техніка друкарства "ДРУК –2004" (Київ, 2004)

28. Киричок П. О. Експлуатаційні властивості клейової полімерної пластини корінцевої частини книжкового блоку зшитого нитками /П. О. Киричок, О. О. Палюх//Матеріали Х Міжнар. наук-практ. конф. «Квалілогія книги» (Львів, 12 вересня 2019 р.). – Львів: УАД, 2019. – с.

29. Киричок П. О. Конструктивні особливості побудови штампів для висікання розгортки книжкових обкладинок /Киричок П. О. Палюх О. О.// Матеріали ІХ Міжнар. наук-техн. конф. «Прогресивні технології в машинобудуванні» (Львів, 03-07 лютого 2020 р.). – Львів: Львівська політехніка, 2020. – с.

30. Киричок П. О. Експериментальне визначення показників міцності окремих зразків палітурних матеріалів для виготовлення інтегральних обкладинок /Киричок П. О., Палюх О. О.// Поліграфічні, мультимедійні та web-

технології (PMW–2018). Матеріали III Міжн. наук. -техн. конф. (17–19 жовтня 2018 р.). — Львів: Українська академія друкарства, 2018. — с. 102-105.

31. Киричок П. О. Конструктивні особливості створення ергономічних і ресурсозберігаючих видів книжково-журнальних обкладинок/ П.О. Киричок, О.О. Палюх //Матеріали IX Міжнародної наук.-практ. конф. «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем» (Чернігів, 14 - 16 травня 2019 р.)

32. Киричок П. О. Розрахунок товщини Ш-подібної клейової полімерної пластини корінцевої частини книжкового блоку зшитого нитками /П. О. Киричок, О. О. Палюх// Матеріали X Міжнародної наук.-практ. конф. «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем» (Чернігів, 29-30 квітня 2020 р.). – Чернігів : ЧНТУ, 2020. – Т. 1. – с. 259-261.

33. Киричок П. О. Дослідження впливу кутового зсуву клейового шару на міцність корінцевої частини книжкового блоку зшитого нитками. /П. О. Киричок, О. О. Палюх //Матеріали IV Міжнародної наук.-техн. конф. «Поліграфічні, мультимедійні та WEB-технології» (Харків, 14-17 мая 2019). – Харків: ХНУРЭ, 2019. – с. 38.

34. Палюх А. А. Конструктивные особенности штампов для высекания интегральных обложек одного формата и переменной ширине корешка. /А. А. Палюх, П. А. Киричок//Принттехнологии и медиакоммуникации: материалы 84-й науч.-техн. конференции БГТУ (с международным участием), (Минск, 3-14 февраля 2020 г.). – Минск : БГТУ, 2020. – С. 67-69.

## АНОТАЦІЯ

**Палюх О. О. Теоретичні і практичні засади технологічного забезпечення якості книжкової продукції. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.01 – машини і процеси поліграфічного виробництва. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2021.

В дисертаційній роботі вирішується важлива науково-прикладна проблема розроблення теоретичних і практичних засад технологічного забезпечення якості книжкової продукції. Обґрунтовано і розроблено технологічні процеси виготовлення ергономічних ресурсощадних книжкових обкладинок та досліджено вплив на їх міцність дискретного нанесення клею та модифікованих клейових полімерних композицій. Розвинуто методи математичного моделювання керування технологічними процесами клейового скріплення Ш-подібної корінцевої частини книжкових блоків, зшитих нитками, процесів кутового зсуву корінцевої полімерної клейової пластини, впливу палітурних клеїв на природні кути розкривання книжкових блоків. Створено універсальну математичну модель та засоби визначення факторів

руйнування корінцевої частини книжкових блоків, зшитих нитками, на основі виявленого впливу товщини клейового шару на зміну кутів обхвату і дотичних кутів.

Розроблено та практично реалізовано методологію оптимального вимірювання міцності матеріалів з використанням вперше введених показників вимірювання в поздовжньому і поперечному напрямках розташування волокон. Розроблено, обґрунтовано і практично перевірено методику розрахунку необхідної і достатньої кількості клею для окантовування Ш-подібних корінців книжкових блоків, яка враховує геометричні особливості скріплення блоків, забезпечує їх основні характеристики у міцності та експлуатаційній тривалості, забезпечує умови мінімізації витрат клею в технологічному процесі.

Ключові слова: корінцеве скріплення, кути розкривання блоків, напівжорсткі обкладинки, профільне нанесення клею, модифіковані клейові композиції, дискретне нанесення клею, обертальне пресування, розрахункові моделі.

## **АННОТАЦИЯ**

**Палюх А. А. Теоретические и практические основы технологического обеспечения качества книжной продукции. - Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.01 - машины и процессы полиграфического производства. - Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, 2021.

В диссертационной работе решается важная научно-прикладная проблема разработки теоретических и практических основ технологического обеспечения качества книжной продукции. Обоснованы и разработаны технологические процессы изготовления эргономических ресурсосберегающих книжных обложек и исследовано влияние на их структурную прочность дискретного нанесения клея и модифицированных клеевых полимерных композиций. Развита методика математического моделирования управления технологическими процессами клеевого скрепления Ш-образной корешковой части книжных блоков, сшитых нитками, процессов углового смещения корешковой полимерной клеевой пластины, влияния переплетных клеев на природные углы раскрытия книжных блоков. Создана универсальная математическая модель и средства определения факторов разрушения корешковой части книжных блоков, сшитых нитками, на основе выявленного влияния толщины клеевого слоя на изменение углов охвата и касательных углов.

Разработана и практически реализована методология оптимального измерения прочности материалов с использованием впервые введенных показателей измерения в продольном и поперечном направлениях

расположения волокон. Разработана, обоснована и практически проверена методика расчета необходимого и достаточного количества клея для окантовывания Ш-образных корешков книжных блоков, которая учитывает геометрические особенности скрепления блоков, обеспечивает их основные характеристики в прочности и эксплуатационной продолжительности, обеспечивает условия минимизации расхода клея в технологическом процессе.

Ключевые слова: корешковое скрепления, углы раскрытия блоков, полужесткие обложки, профильное нанесение клея, модифицированные клеевые композиции, дискретное нанесение клея, вращательное прессование, расчетные модели.

## **ANNOTATION**

**Paliukh O.O. Theoretical and practical foundations of technological quality assurance of book products. – Manuscript.**

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences on a specialty 05.05.01 - cars and processes of polygraphic production. - National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", Kyiv, 2021.

In the dissertation work the important scientific and applied problem of development of theoretical and practical bases of technological maintenance of quality of book production is solved. Technological processes of manufacturing ergonomic resource-saving book covers are substantiated and developed and the influence on their structural strength of discrete glue application and modified adhesive polymer compositions is investigated. A conceptual model of optimization of structural and physical properties of adhesive joints as a means of increasing the strength of semi-rigid covers as a result of bonding their structural components with modified polymer adhesive compositions based on poly-vinyl acetate dispersions (PVAD) and mixtures of emulsifiers with PVAD latexes introduced into their structure in different weight proportions. Methods of mathematical modeling of control of technological processes of adhesive bonding of the W-shaped root part of book blocks sewn by threads, processes of angular shift of root polymeric adhesive plate, influence of binding adhesives on natural angles of opening of book blocks are developed. A universal mathematical model and means for determining the factors of destruction of the root part of book blocks sewn with threads, based on the revealed influence of the thickness of the adhesive layer on the change of girth angles and tangent angles, which at the point of intersection fix indicators of technologically optimal thickness of selected characteristics.

The methodology of optimal measurement of strength of materials of production of semi-rigid covers with use of the first entered indicators of measurement in the longitudinal and cross directions of an arrangement of fibers is developed and practically realized. Based on the identified features of bonding the W-shaped root part of the book blocks sewn with threads, a methodology for calculating the profile

application of the adhesive layer on the root part of the blocks, composed of notebooks with the same and different number of pages. Developed, substantiated and practically tested the method of calculating the necessary and sufficient amount of glue for edging W-shaped roots of book blocks, which takes into account the geometric features of the blocks, provides their main characteristics in strength and service life, provides conditions for minimizing glue costs in the process.

Presents the results of theoretical and experimental investigation of the effect of discrete glue application as well as modified glue compounds on the strength of semi-rigid covers. This enabled the creation of a proportional modeling system for discrete glue application, in tape or cell method, to calculate the strength of semi-rigid covers. It takes into account the predetermined dimensions of glue and non-glue areas, the alternation of which forms the expected strength value.

In addition, the reapplication of binding glues to the surfaces of the edges and flaps, before bonding the semi-rigid covers, involves not only the use of known water-soluble polymer compounds, which provide the intended strength of the book cover formed after bonding, but also the use of pre-modified glues, which, while maintaining the same quantitative composition of glues without modification, provide an increase in the strength of the bonded product.

In the process of planning the experimental study on preparing the weight composition of the formulation elements of polyvinyl acetate dispersions (PVADs), widely used in bookbinding production for manufacturing book frames, the application of water-soluble modifiers is envisaged to improve the glue properties of the dispersions. Examines the technological features of the design of an experimental line for manufacturing the semi-rigid covers. The structure and sequence of technological processes for manufacturing the semi-rigid covers for book products have been developed, providing for absence of reciprocating motion of actuating mechanisms for their ensuring. The specific features of developing the technological processes include the high-speed transport of semi-finished products along the folding and gluing line. The specific features of developing the technological process include the high-speed transport of semi-finished products along the folding and gluing line. Starting with separation of cover scans by one copy, application of glue compounds with rotating shafts with discrete construction of cylindrical surfaces (presence of circular recesses arranged in dimensional steps), helical deflecting folding and final pressing.

The use of rotary-roller mechanisms, which carry out rotary pressing of the covers and their high-speed coordinated transport, ensures that the technological dimensional tolerances defined in the industry standards are observed during the manufacturing process.

Key words: spine binding, block opening angles, semi-rigid covers, profile glue application, modified glue compounds, discrete glue application, rotary pressing, calculation models.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Свідоцтво про державну реєстрацію серія ДК №5354 від 25.05.2017 р.  
просп. Перемоги, 37,  
м. Київ, 03056

Підп. до друку 11.02.2021. Формат 60/84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Папір офс. Гарнітура Times  
Спосіб друку – електрографічний. Ум. друк.арк. 1,9. Обл.-вид. арк. 2,09.

Наклад 100 пр.

Зам. №21-014.

Видавництво «Політехніка», КПІ ім. Ігоря Сікорського  
вул. Політехнічна, 14, корп. 15  
м. Київ, 03056  
тел. (044) 204-81-78